



**Ana Maria Catarino do Couto Coelho Augusto    A Evaporação e a Vida no Ensino das Ciências**



**Ana Maria Catarino do Couto Coelho Augusto    A Evaporação e a Vida no Ensino das Ciências**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ensino da Física, realizada sob a orientação científica do professor Doutor Mário Talaia, Professor Auxiliar de nomeação definitiva do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

A Terra “nasceu” há mais de 4,5 milhões de anos sob uma “boa” estrela, o Sol. Este criou condições para que aparecessem as primeiras algas, organismos pluricelulares...

Durante todo este tempo, a Terra foi iluminada e aquecida pelo Sol, fazendo com que certas camadas de ar se movimentassem e os ventos soprassem, as águas juntaram-se para formarem nuvens, as águas correram pelas montanhas, voltando um dia ao mar, saciando a sede dos animais e das plantas no seu trajecto.

Os oceanos e os mares foram aquecidos pelo Sol...

A Terra foi envolvida por uma camada atmosférica que contribuiu para que a temperatura média do planeta permitisse a existência de vida.

Costa *et al.* (2003) e Maciel *et al.* (2003)

## **o júri**

presidente

Doutora Nilza Maria Vilhena Nunes da Costa  
Professora catedrática da Universidade de Aveiro

Doutora Liliana do Carmo Santiago Fernandes Amada Caramelo  
Professora auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor Mário de Almeida Rodrigues Talaia  
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)



## **agradecimentos**

Tenho que salientar o apoio e interesse, no meu evoluir pessoal e profissional, do meu marido (Hugo Augusto), dos meus pais (Ercília Coelho e Duarte Coelho), e do excelente orientador (Professor Doutor Mário Talaia), que proporcionaram a elaboração desta dissertação de Mestrado.

## **palavras-chave**

Evaporação, balanço energético, tina evaporimétrica, estação meteorológica clássica, radiossondagem, trabalho prático, ensino por pesquisa, dinâmica CTS.

## **resumo**

É sabido que uma das grandes preocupações mundiais são as alterações climáticas, uma vez que condicionam grande parte das actividades do ser Humano. Impactos imprevisíveis serão esperados e tudo o que vive terá de se adaptar às mudanças climáticas.

Além de alterações globais, qualquer alteração no padrão de ocorrência de fenómenos provocará impacto significativo nos diferentes ecossistemas. Os seres vivos terão de se adaptar a novas condições atmosféricas.

Com olhos neste cenário, e uma vez que alunos de hoje tomarão decisões e acções no futuro, é importante que estes compreendam o que envolve e condiciona o conhecimento da nossa atmosfera.

Esta dissertação surge, como uma contribuição, para ajudar os profissionais do ensino a compreender melhor alguns aspectos ou seja fenómenos físicos que ocorrem na atmosfera.

Somos de opinião que a aplicabilidade de fenómenos relacionados com a Atmosfera a nível de ensino fomenta: uma vontade de se querer saber mais; a possibilidade em se darem respostas cientificamente correctas a questões problema relacionadas com fenómenos meteorológicos; a possibilidade de sugerir estratégias de ensino que motivem os alunos para além do contexto de sala de aula, através de actividades exteriores à sala de aula.

**keywords**

Evaporation, energetic balance, pan evaporation, traditional weather station, radio sounding, practice, teaching through research, CTS dynamics

**abstract**

It is known that one of the world's major concerns is the climate alterations, since they condition many of Men's activities. Unpredictable impacts are expected and every living thing will have to adapt to the climate changes.

Apart from global alterations, any changes in the frequency standard of the phenomena will have significant impact on the different ecosystems. Living things will have to adjust to the new atmospheric conditions.

Taking this scenario into account, and once our students will take actions and decisions in the future; it's important that they understand what involves and conditions the knowledge of our atmosphere.

This dissertation comes as a contribution in order to help the teaching professionals to better understand some aspects like physic phenomena that occur in the atmosphere.

In our opinion the applicability of Atmospheric related phenomena at teaching level fosters: the will to further knowledge; a possibility of giving scientifically correct answers to questions and problems with meteorological related phenomena; the possibility to suggest teaching strategies that motivate students beyond the classroom, through out-door activities.

## Índice

<b>Lista de Figuras e Tabelas</b>	<b>5</b>
<b>Lista de Símbolos e Abreviaturas</b>	<b>9</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>13</b>
1.1. Relevância do tema	15
1.2. Objectivos	18
1.3. Estrutura do trabalho	18
<b>2. Revisão bibliográfica sobre trabalho prático</b>	<b>21</b>
2.1. Introdução	23
2.2. Perspectivas de Ensino das Ciências	24
2.2.1. Modelo transmissor	24
2.2.2. Modelo construtor	25
2.2.3. Abordagem CTS-A	26
2.2.4. Trabalho Experimental	26
2.2.4.1. Trabalho Laboratorial	27
2.2.4.2. Trabalho de Campo	27
2.2.5. Ensino Por Pesquisa (EPP)	27
2.3. Orientações curriculares para o Ensino das Ciências	28
2.3.1. 3º Ciclo do Ensino Básico	29
2.3.2. Ensino Secundário (ES)	32
2.4. Estratégia didáctica do estudo	36
<b>3. Enquadramento teórico</b>	<b>41</b>
3.1. Introdução	43
3.2. A Atmosfera	43
3.3. Ar húmido	44
3.3.1. Humidade absoluta ou massa volúmica	44
3.3.2. Equação de estado	45
3.4. Termodinâmica do ar húmido	47

3.4.1. Lei de Dalton	47
3.4.2. Pressão de saturação do vapor em relação à superfície líquida	48
<b>3.5. Condições higrométricas do ar húmido</b>	<b>52</b>
3.5.1. Razão de mistura	52
3.5.2. Razão de mistura de saturação	53
3.5.3. Humidade relativa	54
3.5.4. Temperatura do ponto de orvalho	54
3.5.5. Temperatura do termómetro molhado	55
<b>3.6. Ciclo hidrológico</b>	<b>55</b>
<b>3.7. Evaporação</b>	<b>57</b>
<b>3.8. Viajando através da atmosfera</b>	<b>61</b>
<b>3.9. Estação meteorológica</b>	<b>66</b>
3.9.1. Abrigo Meteorológico	67
3.9.2. Tina de evaporimétrica de Classe "A"	70
3.9.3. Anemómetro e cata-vento	71
3.9.4. Udómetro e udografo	72
3.9.5. Heliógrafo	73
3.9.6. Piranómetro	73
3.9.7. Visibilidade meteorológica	74
3.9.8. Nebulosidade	74
3.9.9. Barómetro	75
3.9.10. Gráficos de informação de registo de dados	75
<b>4. Actividades experimentais desenvolvidas</b>	<b>79</b>
4.1. Introdução	81
4.2. Processo da evaporação numa actividade simples - ciclo de água	82
4.3. Balanço energético - uma tina evaporimétrica	88
4.4. Radiossondagem	100
4.5. Um "pacote de ar": dois momentos do dia (9 e 15 h)	141
4.6. Balanço da coluna de água (precipitação/evaporação)	146
<b>5. Oficina pedagógica</b>	<b>151</b>

<b>6. Considerações finais e perspectivas futuras</b>	<b>157</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>163</b>
<b>Anexos</b>	<b>171</b>
Anexo 1	173
Anexo 2	174



## Lista de Figuras e Tabelas

Figura 3.01 - Vapor de água em equilíbrio com uma superfície plana.....	48
Figura 3.02 - ciclo hidrológico ( <a href="http://www.igc.usp.br/geologia/aguas_subterraneas.php">http://www.igc.usp.br/geologia/aguas_subterraneas.php</a> )	57
Figura 3.03 - Esquema das trocas de energia no processo de evaporação .....	58
Figura 3.04 - Balão meteorológico e sonda meteorológica.....	62
Figura 3.05 - Fase de "lançamento" do balão - sonda .....	62
Figura 3.06 - Radiossondagens realizadas ( <a href="http://www.wmo.ch/web/www/OSY/GOS.html">http://www.wmo.ch/web/www/OSY/GOS.html</a> ) .....	63
Figura 3.07 - Sistema de Observação Global ( <a href="http://www.wmo.ch/web/www/OSY/GOS.html">http://www.wmo.ch/web/www/OSY/GOS.html</a> ) .....	64
Figura 3.08 - Satélites meteorológicos .....	64
Figura 3.09 - Computador, ADAS e teodolito.....	65
Tabela 3.01 - Visualização dos dados registados .....	65
Figura 3.10 - Estação meteorológica da Universidade de Aveiro .....	67
Figura 3.11 - Abrigo meteorológico e alguns instrumentos de medida .....	67
Figura 3.12 - Vista da tina evaporimétrica e sistema de medida .....	70
Figura 3.13 - Vista de um anemómetro e cata-vento .....	71
Figura 3.14 - Udómetro e udografo.....	72
Figura 3.15 - Heliógrafo e tira de papel para medir a insolação .....	73
Figura 3.16 - Piranómetro.....	74
Figura 3.17 - Caderno diário das observações .....	76
Figura 3.18 - Página diária de observação e registos.....	76
Figura 3.19 - Folha de registo mensal.....	77
Figura 3.20 - Folha de registo de dados - ficheiro Excel .....	78
Figura 4.1 - Maqueta didáctica para o estudo do ciclo hidrológico e um pormenor.....	83
Figura 4.2 - Evaporação activa por forçamento de uma corrente de ar .....	84
Figura 4.3 - Preparação de gelo moído com água.....	86
Figura 4.4 - Condensação de vapor de água e queda de uma gota de água.....	86
Figura 4.5 - Relação entre $Q_n$ e $Q_s$ (região de Aveiro).....	91
Figura 4.6 - Evaporação calculada e registada ao longo do ano .....	94
Figura 4.7 - Ficheiro de dados de Maio e de Novembro de 1991 .....	95



Figura 4.8 - Relação entre a evaporação registada e calculada.....	95
Figura 4.9 - Evaporação registada, calculada e corrigida.....	96
Figura 4.10 - Evaporação registada, calculada e corrigida (gráfico de barras) .....	97
Figura 4.11 - Diferença de valores: calculados e registados .....	97
Figura 4.12 - Evaporação registada, calculada - ano 1990 .....	98
Figura 4.13 - Evaporação (registada, calculada e corrigida) para 1990 .....	98
Figura 4.14 - Tabela de valores de uma radiossondagem.....	102
Figura 4.15 - Radiossondagem realizada no dia 5 de Janeiro de 2000 às 0 horas .....	103
Figura 4.16 - Radiossondagem realizada no dia 5 de Janeiro de 2000 às 12 horas .....	103
Figura 4.17 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Janeiro de 2000 às 0 horas .....	104
Figura 4.18 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Janeiro de 2000 às 12 horas .....	104
Figura 4.19 - Radiossondagem realizada no dia 29 de Janeiro de 2000 às 0 horas.....	105
Figura 4.20 - Radiossondagem realizada no dia 29 de Janeiro de 2000 às 12 horas .....	105
Figura 4.21 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Fevereiro de 2000 às 0 horas .....	106
Figura 4. 22 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Fevereiro de 2000 às 12 horas .....	106
Figura 4.23 - Radiossondagem realizada no dia 29 de Fevereiro de 2000 às 0 horas.....	107
Figura 4.24 - Radiossondagem realizada no dia 29 de Fevereiro de 2000 às 12 horas.....	107
Figura 4.25 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Março de 2000 às 0 horas .....	108
Figura 4.26 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Março de 2000 às 12 horas .....	108
Figura 4.27 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Março de 2000 às 0 horas.....	109
Figura 4.28 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Março de 2000 às 12 horas.....	109
Figura 4.29 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Abril de 2000 às 0 horas.....	110
Figura 4.30 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Abril de 2000 às 12 horas.....	110
Figura 4.31 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Abril de 2000 às 0 horas .....	111
Figura 4.32 - radiossondagem realizada no dia 30 de Abril de 2000 às 12 horas.....	111
Figura 4.33 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Maio de 2000 às 0 horas .....	112
Figura 4.34 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Maio de 2000 às 12 horas .....	112
Figura 4.35 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Maio de 2000 às 0 horas .....	113
Figura 4.36 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Maio de 2000 às 12 horas.....	113
Figura 4.37 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Junho de 2000 às 0 horas.....	114
Figura 4.38 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Junho de 2000 às 12 horas.....	114
Figura 4.39 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Junho de 2000 às 0 horas.....	115
Figura 4.40 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Junho de 2000 às 12 horas .....	115

Figura 4.41 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Julho de 2000 às 0 horas .....	116
Figura 4.42 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Julho de 2000 às 12 horas .....	116
Figura 4.43 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Julho de 2000 às 0 horas .....	117
Figura 4.44 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Julho de 2000 às 12 horas .....	117
Figura 4.45 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Agosto de 2000 às 0 horas.....	118
Figura 4.46 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Agosto de 2000 às 12 horas.....	118
Figura 4.47 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Agosto de 2000 às 0 horas .....	119
Figura 4.48 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Agosto de 2000 às 12 horas .....	119
Figura 4.49 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Setembro de 2000 às 0 horas .....	120
Figura 4.50 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Setembro de 2000 às 12 horas .....	120
Figura 4.51 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Setembro de 2000 às 0 horas .....	121
Figura 4.52 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Setembro de 2000 às 12 horas .....	121
Figura 4.53 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Outubro de 2000 às 0 horas .....	122
Figura 4.54 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Outubro de 2000 às 12 horas .....	122
Figura 4.55 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Novembro de 2000 às 0 horas.....	123
Figura 4.56 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Novembro de 2000 às 12 horas.....	123
Figura 4.57 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Novembro de 2000 às 0 horas .....	124
Figura 4.58 - radiossondagem realizada no dia 30 de Novembro de 2000 às 12 horas.....	124
Figura 4.59 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Dezembro de 2000 às 0 horas.....	125
Figura 4.60 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Dezembro de 2000 às 12 horas.....	125
Figura 4.61 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Dezembro de 2000 às 0 horas.....	126
Figura 4.62 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Dezembro de 2000 às 12 horas .....	126
Figura 4.63 - Humidade relativa em altitude: Janeiro, Maio, Agosto e Outubro .....	127
Figura 4.64 - Radiossondagens realizadas: dia 5/01 e 15/08 de 2000 .....	128
Figura 4.65 - Radiossondagens realizadas: dia 15/05 e 15/08 de 2000 .....	129
Figura 4.66 - Radiossondagens realizadas: dia 30/10 e 15/08 de 2000 .....	129
Figura 4.67 - Radiossondagens realizadas: pressão atmosférica em altitude .....	131
Figura 4.68 - Gradiente vertical da temperatura.....	132
Figura 4.69 - Pressão atmosférica em altitude: valores registados e modelo (4.13) .....	133
Figura 4.70 - "pacote de ar" a ascender adiabaticamente na atmosfera .....	136
Figura 4.71 - "pacote de ar" a ascender na atmosfera.....	138
Figura 4.72 - temperatura em função da altitude .....	140
Figura 4.73 - Mês de Janeiro: temperatura do ar e do termómetro molhado .....	142

Figura 4.74 - Mês de Maio: temperatura do ar e do termómetro molhado .....	142
Figura 4.75 - Mês de Agosto: temperatura do ar e do termómetro molhado.....	143
Figura 4.76 - Mês de Outubro: temperatura do ar e do termómetro molhado .....	143
Figura 4.77 - Mês de Janeiro: humidade relativa do ar.....	144
Figura 4.78 - Mês de Maio: humidade relativa do ar .....	145
Figura 4.79 - Mês de Agosto: humidade relativa do ar.....	145
Figura 4.80 - Mês de Outubro: humidade relativa do ar .....	145
Figura 4.81 - Evaporação e precipitação entre 1982 e 2003 .....	148
Figura 4.82 - Evaporação e precipitação acumulada da série .....	149
Figura 4.83 - Evaporação e precipitação acumuladas ao longo da série de anos.....	149
Figura 5.1 - Oficina Pedagógica realizada no XIX congresso de ENCIGA.....	153
Figura 5.2 - Uma fase dos trabalhos .....	154
Figura 5.3 - Fase de construção de um psicrómetro.....	154
Figura 5.4 - Observação da temperatura (termómetro seco e molhado).....	155

## Lista de Símbolos e Abreviaturas

Símbolo	Significado
<i>ADAS</i>	Sistema de aquisição de dados atmosféricos
<i>CIEDS</i>	Conferência Internacional "Educação para o Desenvolvimento Sustentável"
<i>CTS</i>	Ciência Tecnologia Sociedade
<i>CTS-A</i>	Ciência Tecnologia Sociedade e Ambiente
<i>EPP</i>	Ensino Por Pesquisa
<i>ES</i>	Ensino Secundário
<i>IPCC</i>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<i>TIC</i>	Tecnologias de Informação e Comunicação
<i>TMG</i>	Tempo Médio de Greenwich
<i>UNEP</i>	United Nations Environment Programme
<i>UNESCO</i>	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
<i>UTC</i>	Universal Time, Coordinated
<i>WMO</i>	World Meteorological Organization
<i>A</i>	Superfície livre de evaporação
<i>C</i>	Constante
<i>C<sub>p</sub></i>	Capacidade térmica mássica a pressão constante
<i>a (índice)</i>	Ar seco
<i>e</i>	Pressão parcial exercida pelo vapor de água
<i>e<sub>s</sub></i>	Pressão parcial de saturação
<i>e<sub>s</sub>(T)</i>	Pressão parcial de vapor de água à temperatura T

$e_{s0}$	Pressão de saturação de vapor correspondente à temperatura $T_0 = 273,15\text{ K}$
$E$	Coluna de água
$g$	Aceleração devida à gravidade
$H_2O$	Água
$H_r$	Humidade relativa
$k$	Constante
$L$	Calor de transformação
$L_{1-2}$	Calor de transformação
$m$	Massa de vapor de água,
$M$	Massa molar desse gás
$m_a$	Massa de ar seco
$m_w$	Massa de vapor de água
$n$	Quantidade de substância
$N_2$	Azoto
$O_2$	Oxigénio
$p$	Pressão absoluta
$p_0$	Pressão standard (padrão)
$p_a$	Pressão parcial exercida pelo ar seco
$Q$	Energia necessária à mudança de estado físico
$Q_e$	Energia utilizada na evaporação
$Q_h$	Energia transferida sob a forma de calor da massa de água para a atmosfera por efeitos de turbulência
$Q_{lw}$	Radiação da massa de água para a atmosfera sob a forma de ondas longas
$Q_n$	Radiação útil
$Q_s$	Radiação solar incidente ou radiação global
$Q_{sr}$	Radiação solar reflectida
$Q_{ve}$	Energia cedida pela massa de água através da água evaporada.

$R$	Constante dos gases perfeitos
$R_a$	Constante particular do ar seco
$r_s$	Razão de mistura de saturação
$R_w$	Constante particular do vapor de água
$T$	Temperatura
$T_0$	Temperatura (0°C)
$T_d$	Temperatura do Ponto de Orvalho
$v$	Volume de ar
$v_1$	Volume de ar
$w$ (índice)	Vapor de água
$z$	altitude
$\alpha$	Albedo da superfície (água)
$\theta$	Temperatura potencial
$\rho$	Humidade absoluta ou massa volúmica do vapor
$\rho_a$	Massa volúmica do ar seco.
$\rho_w$	Massa volúmica do vapor de água
$\sigma$	Constante de Boltzmann
$\Gamma$	Gradiente vertical da temperatura





## 1. Introdução







## 1.1. Relevância do tema

É sabido que desde os tempos mais remotos o homem tem tentado estabelecer relações entre si, o tempo e o clima, de modo a melhorar as suas próprias condições de vida, pois o clima condiciona muitas das actividades humanas.

Por isto, diferentes entidades e grupos de intervenção, de entre elas a United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) e a Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), mostram grandes preocupações com as alterações climáticas.

Desde 1988 que informação científica, técnica, económica e social para uma melhor compreensão das mudanças climáticas tem sido disponibilizada, pelo, IPCC, estabelecido pela World Meteorological Organization (WMO) e United Nations Environment Programme (UNEP).

Há inúmeros cenários para o planeta Terra divulgados pela comunidade científica. De acordo com o IPCC (2001a; 2001b; 2007), as alterações climáticas poderão produzir um impacto muito prejudicial no ambiente e causar importantes problemas económicos e sociais. O efeito de estufa está a condicionar cenários para um aumento da temperatura média à superfície da Terra entre 1.4°C a 5.8°C e da subida do nível médio das águas.

O aquecimento global está associado às alterações climáticas, conforme mostra a excelente obra científica publicada pela National Geographic (2004). O documento mostra que os combustíveis fósseis contribuíram em média, nas últimas décadas, com um aumento da temperatura média do ar em cerca de 0,5 °C. Se é verdade que este aumento não se faz sentir em algumas regiões do planeta, também o é que

está a ter um impacto relevante e preocupante em outras regiões do planeta, com alterações significativas nos ecossistemas.

À medida que a ciência que investiga as causas das alterações climáticas induzidas pelo homem se tem vindo a desenvolver, tem aumentado a necessidade de tentar compreender quais os possíveis impactos dessas alterações climáticas, em particular na agricultura e florestação, devido à ruptura do ciclo hidrológico.

Impactos imprevisíveis serão esperados e tudo o que vive terá de se adaptar às mudanças climáticas. A velocidade de ocorrência das alterações climáticas irá determinar o conseqüente grau de "stress" sentido pelos sistemas biológicos e pela sociedade humana. Além destas alterações globais, qualquer alteração no padrão de ocorrência de fenómenos "extremos", que incluem as fortes precipitações, tempestades, inundações, etc., irá ter um impacto significativo nos diferentes ecossistemas.

No entanto, espera-se que nos próximos 50 anos, os combustíveis fósseis e a biomassa continuem a ser certamente as principais fontes de energia do mundo e é bem conhecido que a exposição aos poluentes, resultantes da produção de energia através destes processos, pode ter como consequência sérios efeitos a nível da saúde pública, especialmente se ocorrerem episódios severos de poluição.

Não restam dúvidas que a nova realidade afectará o ciclo hidrológico.

A evaporação constitui uma das partes essenciais do ciclo hidrológico, uma vez que redistribui a água e a energia entre a superfície da terra e a atmosfera. Como elemento importante no planeamento de várias actividades, permite, por exemplo, o estudo da estimativa do conteúdo de água no solo e também das implicações no rendimento das culturas de uma região.

Com olhos em cenários futuros, e uma vez que alunos de hoje tomarão decisões e acções no futuro, é importante que estes compreendam o que envolve e condiciona o clima do nosso planeta, pois as alterações climáticas estão a afectar os ecossistemas e estão a ser uma das maiores preocupações mundiais, conforme mostram os inúmeros artigos publicados por organizações ambientais. Neste sentido a liderança da UNESCO na Educação para Desenvolvimento Sustentável tem como objectivo melhorar o acesso a uma educação de qualidade básica, reorientar programas de educação que estão em vigor, fomentar uma compreensão pública com boas atitudes e boa consciência e promover uma aprendizagem com base na qualidade de vida.

Uma Educação de Qualidade é um processo dinâmico, dado o mundo de sociedades estar constantemente a sofrer transformações sociais e económicas significativas (UNESCO, 2005). Também a Conferência Internacional "Educação para o Desenvolvimento Sustentável - Preparação da Década das Nações Unidas (CIEDS)", realizada em Braga em 2004, mostrou que a Educação é decisiva para promover o desenvolvimento sustentável e para melhorar a capacidade das pessoas para responder às questões de ambiente e desenvolvimento. Na prática, a Educação deverá ser integrada em todas as disciplinas e empregar métodos formais e não formais assim como meios eficazes de comunicação.

Neste contexto, a Escola, como instituição formal de Educação, deve promover o desenvolvimento sustentável através da aquisição de saberes, atitudes, valores e competências que permitam desenvolver nos alunos uma consciencialização ecológica que apele à consciência individual e à mudança dos comportamentos e atitudes uma vez que, a participação individual é determinante para uma inversão significativa dos problemas ambientais.

Na escola, o professor será a via que leva os alunos a desenvolver estas competências e esta consciencialização ecológica, tornando-se essencial que tenha conhecimentos nesta área. No entanto, os cursos de formação dos professores não abrangem estas temáticas. Visto isto, os professores podem ver-se a "braços" com algumas dificuldades quando têm que abordar estes temas na sala de aula. Assim, e também para dar resposta a esta necessidade, e propor novas estratégias de ensino, surge esta dissertação, uma vez que em Portugal estas temáticas são abordadas, tanto no Ensino Básico, como no Ensino Secundário, como veremos no segundo Capítulo.

## **1.2. Objectivos**

Esta dissertação tem como objectivos proporcionar aos professores uma base:

- para a compreensão clara do processo de evaporação, assim como os factores que a condicionam;
- para compreender como a partir de dados meteorológicos obtidos numa estação meteorológica e através de uma radiossondagem se pode compreender melhor os fenómenos atmosféricos;
- para orientar a obtenção e exploração dos instrumentos meteorológicos existentes numa estação meteorológica;
- de propostas de estratégias diferentes e inovadoras de ensino.

## **1.3. Estrutura do trabalho**

Esta dissertação é constituída por seis Capítulos.

No primeiro Capítulo introduz-se a relevância do tema, tendo por base as preocupações de diferentes organizações acerca das alterações climáticas.

No segundo Capítulo faz-se uma revisão bibliográfica sobre trabalho prático focalizando-se diferentes perspectivas de ensino e orientações curriculares.

O terceiro Capítulo é de enquadramento teórico. Neste são apresentados conceitos teóricos básicos para uma melhor compreensão dos fenómenos físicos que serão abordados, apresentando-se, também, alguns modelos que serão usados.

No quarto Capítulo são apresentadas as actividades experimentais e como elas se podem ligar ao ensino formal. Os modelos usados são justificados e uma abordagem CTS-A é considerada sempre que oportuna.

O quinto Capítulo faz referência a uma oficina pedagógica realizada com uma amostra de professores que mostrou interesse e esteve presente no XIX Congresso de ENCIGA, que se realizou na Escola Secundária Eça de Queirós, na Povia do Varzim, em 2006. Os resultados qualitativos foram considerados relevantes e oportunos para formação de professores.

Finalmente, o sexto Capítulo apresenta as considerações finais desta dissertação e perspectivas futuras de trabalho de investigação.





## **2. Revisão bibliográfica sobre trabalho prático**







## 2.1. Introdução

É inegável a influência crescente dos meios de comunicação social na formação da opinião pública sobre os mais variados assuntos, especialmente se tivermos em atenção a primazia da televisão e mais recentemente o exemplo extremo da utilização das redes informáticas do tipo "Internet".

Torna-se essencial, para que os alunos possam pensar e intervir numa sociedade em que a Ciência e a Tecnologia se vêm tornando preponderantes, promover a literacia científica, compreensão do conhecimento científico e da natureza da Ciência (Martins, 1999; Cachapuz *et al*, 1991). Esta deve estender-se a todos os cidadãos de tal maneira que adquiram uma cultura científica que lhes confira competências.

Assim a Educação em Ciência tem que atender à nova situação.

Segundo Miller (1994) *"literacia científica deve ser o nível de conhecimento científico e tecnológico necessário para se poder actuar minimamente como cidadão e consumidor na sociedade"*, assim, aprender Ciência passa, por desenvolver ou reestruturar conceitos que os alunos já possuem acerca de fenómenos do mundo físico. Em vez de se tentar que os alunos aprendam todos os conceitos por um único método, deve pretender-se que construam/reconstruam conceitos com o recurso a vivências activas.

Assim, o objectivo principal de quem ensina ciência é a preparação de uma sociedade apta a lidar com o conhecimento científico.

Uma vez que cabe ao Professor ajudar a desenvolver competências aos futuros cidadãos e ajudá-los a saber interpretar fisicamente os processos envolvidos, este deve fazê-lo de forma prazerosa, usando novas estratégias e instrumentos que incentivem o desenvolvimento de habilidades e competências básicas para que o aluno se consciencialize como sujeito

crítico do ambiente onde actua e se aproprie efectivamente de novos saberes. Para que tal possa acontecer, a educação escolar tem que, cada vez mais, estabelecer diálogo com outros espaços, tendo em vista explorar o que esses espaços oferecem para a aquisição de conhecimento por meio de emprego de outras linguagens e ferramentas. Assim, também, na nossa opinião é essencial fazer uma abordagem de ensino CTS-A (Ciência Tecnologia Sociedade e Ambiente), dar importância ao Trabalho Experimental no Ensino das Ciências, apresentado como um problema de resolução aberta aos alunos, numa Perspectiva de Ensino por Pesquisa

## **2.2. Perspectivas de Ensino das Ciências**

No decorrer do seu trabalho, qualquer que seja a prática de um professor, esta tem por base uma componente teórica e uma componente ideológica; estas justificam e definem o modelo de ensino, respectivamente.

Segundo Freire (1991), Gallagher (1991), Cachapuz e Praia (1992), Brazão (1996), Gil-Pérez (1996) e Fernández e Elortegui (1997) qualquer modelo de ensino encontra-se entre dois extremos designados por modelo transmissor e modelo construtor.

### **2.2.1. Modelo transmissor**

Este modelo tem por base teorias empiristas. As suas características mais marcantes são:

- os conteúdos de ensino estão previamente organizados e a prioridade reside no cumprimento do programa oficial;
- os alunos trabalham individualmente no grupo-turma (todos são considerados com as mesmas necessidades e interesses);

- as aulas resumem-se, maioritariamente, a exposições orais de conteúdo por parte do professor;

- o recurso didáctico utilizado esgota-se no manual escolar adoptado;

- em geral as actividades práticas envolvem a resolução de exercícios do tipo resposta fechada;

- raramente são utilizadas actividades práticas de natureza experimental, e quando existem, os alunos desenvolvem-nas seguindo as instruções passo a passo, para chegar ao resultado já conhecido pelo professor, não sendo realçadas as complexas variáveis envolvidas na investigação científica, nem o papel da comunidade científica na construção e validação desse conhecimento.

### 2.2.2. Modelo construtor

Este modelo tem por base teorias construtivistas. Assim, a premissa que o sustenta é a de que o aluno é o construtor do seu próprio conhecimento, partindo das suas ideias sobre Ciência. O papel do professor consiste em ajudar o aluno a construir o seu conhecimento, orientando-o na perspectiva da mudança conceptual. Este modelo, pretende ter o aluno como protagonista da sua própria aprendizagem, representa uma tarefa difícil para o professor, dado exigir uma formação adequada nos múltiplos papéis.

As principais características deste modelo, são:

- os conteúdos de ensino não são preestabelecidos, vão sendo "negociados" no decurso das aulas;

- o professor coordena o trabalho dos alunos dando-lhes sugestões, explicações, bem como o material necessário às actividades;

- no papel de coordenador, o professor orienta as situações e ao mesmo tempo modifica-as face às interacções que estabelece com os alunos;

- os recursos didácticos são variados, incluindo livros e documentos;

- a metodologia de ensino apoia-se fortemente na resolução de problemas abertos;

- o professor incentiva o aluno na identificação de problemas para os quais terá de apresentar propostas de resolução, execução e avaliação.

### 2.2.3. Abordagem CTS-A

A abordagem de ensino CTS-A é fortemente orientada pela ideia de literacia Científica e Tecnológica, procura garantir a todos os alunos um conhecimento Científico e Tecnológico a ser usado no seu quotidiano como cidadãos e, ao mesmo tempo, pretende preparar alunos para estudos científicos e tecnológicos posteriores.

Os conteúdos CTS-A são seleccionados com base nos interesses, motivações e necessidades dos alunos como futuros cidadãos, compreendendo além de conceitos e teorias científicas, questões relativas ao mundo físico e tecnológico que os rodeia (Caamaño, 1995).

### 2.2.4. Trabalho Experimental

Atendendo ao referido anteriormente, é essencial salientar, que segundo Leite (2001), o Trabalho Experimental envolve todas as actividades que exigem o controlo e manipulação de variáveis. Logo, as actividades experimentais podem corresponder a actividades laboratoriais, de campo ou a qualquer outro tipo de trabalho prático.

O Trabalho Prático pode incluir actividades de resolução de exercícios, actividades laboratoriais, trabalhos de campo, realização de entrevistas a membros da comunidade e pesquisa de informação, entre outros, de forma a motivar e estimular, despertar interesse e curiosidade para promover atitudes; desafiando os alunos a procurem as respostas adequadas às questões colocadas.

#### **2.2.4.1. Trabalho Laboratorial**

São actividades onde se utilizam materiais e equipamentos laboratoriais, normalmente realizadas num laboratório ou, caso não sejam necessárias condições especiais de segurança, podem ser realizadas na sala de aula. Os materiais e equipamentos laboratoriais podem também ser utilizados numa actividade de Trabalho de Campo.

#### **2.2.4.2. Trabalho de Campo**

São actividades realizadas onde os fenómenos ocorrem, favorecendo situações privilegiadas para a aquisição de conhecimentos e para o desenvolvimento de competências, nomeadamente no que respeita à observação, à interpretação, à reflexão e à análise dos fenómenos em ambiente natural.

As actividades laboratoriais e de campo devem seguir o modelo de Ensino Por Pesquisa.

#### **2.2.5. Ensino Por Pesquisa (EPP)**

O Ensino Por Pesquisa (EPP) apresenta-se como uma nova perspectiva de ensino que proporciona uma mudança de atitudes, e dos processos metodológicos e organizativos de trabalho. Esta mudança proporciona uma maior motivação nos alunos, já que no EPP sobressaem os interesses do quotidiano e pessoais (sociais e culturais). No EPP é valorizado quer o envolvimento cognitivo quer o envolvimento afectivo dos alunos, sem respostas prontas e prévias e sem conduções marcadas pela “mão” do professor. Permitem construir solidamente conhecimentos e reflectir sobre os processos da Ciência e da Tecnologia e as suas relações com a Sociedade e o Ambiente (abordagem CTS-A).

Através do EPP são utilizadas metodologias de trabalho mais activas e diversificadas, de modo a facilitar uma maior autonomia do aluno (Cachapuz *et al.*, 2002).

### **2.3. Orientações curriculares para o Ensino das Ciências**

As orientações curriculares para o Ensino da Física e Química ([http://sitio.dgidec.min-edu.pt/basico/Paginas/Programas\\_Orientacoes\\_Curriculares\\_3CFN.aspx](http://sitio.dgidec.min-edu.pt/basico/Paginas/Programas_Orientacoes_Curriculares_3CFN.aspx) e [http://sitio.dgidec.min-edu.pt/secundario/Paginas/Programas\\_ES\\_F.aspx](http://sitio.dgidec.min-edu.pt/secundario/Paginas/Programas_ES_F.aspx)), tanto no 3º Ciclo como no Secundário afirmam que a sociedade de informação e do conhecimento em que vivemos apela à compreensão da Ciência, não apenas enquanto corpo de saberes, mas também enquanto instituição social. Questões de natureza científica com implicações sociais vêm à praça pública para discussão e os cidadãos são chamados a dar a sua opinião.

Assim são unânimes em salientar a literacia científica dos alunos como pedra basilar de uma cultura científica, e propõem o desafio de cativar os alunos para carreiras ligadas à Ciência e Tecnologia, onde não seja esquecida a profissão docente, indispensáveis ao desenvolvimento socio-económico do País.

Segundo o programa de Física e Química A do 10º ou 11º anos é fundamental que o currículo escolar englobe processos e objectos técnicos usados no dia-a-dia, que se discutam temas sócio-científicos, que se considere a Ciência como uma parte do património cultural da nossa época.

A Educação pela Ciência tem como objectivo a compreensão da Ciência e da Tecnologia, das relações entre uma e outra e das suas implicações na Sociedade privilegiando o conhecimento em acção (por oposição ao

conhecimento disciplinar) e é conhecido por "ensino CTS" (Ciência-Tecnologia-Sociedade) ou "CTS-A" (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente) dada a natureza ambiental dos problemas escolhidos para tratamento.

O desenvolvimento de competências nestes diferentes domínios exige o envolvimento do aluno no processo ensino/aprendizagem, o que lhe é proporcionado pela vivência de experiências educativas diferenciadas.

Passa-se assim pela compreensão do mundo na sua globalidade e complexidade recorrendo-se a situações-problema do quotidiano, familiares aos alunos, a partir das quais se devem organizar estratégias de ensino e de aprendizagem que irão reflectir a necessidade de esclarecer conteúdos e processos da Ciência e da Tecnologia, bem como das suas inter-relações com a Sociedade, favorecendo o desenvolvimento de atitudes e valores.

### 2.3.1. 3º Ciclo do Ensino Básico

As orientações curriculares para o 3º Ciclo das Ciências Físicas e Naturais propõem um conjunto de experiências educativas (citadas em seguida) para o desenvolvimento de competências. Salientam ainda que as competências não devem ser entendidas cada uma por si, mas no seu conjunto, desenvolvendo-se transversalmente, e em simultâneo, na exploração das experiências educativas.



*Conhecimento:*

-Conhecimento substantivo - sugere a análise e discussão de evidências, situações problemáticas, que permitam ao aluno adquirir conhecimento científico apropriado, de modo a interpretar e compreender leis e modelos científicos, reconhecendo as limitações da Ciência e da Tecnologia na resolução de problemas, pessoais, sociais e ambientais.

-Conhecimento processual - apontam a vivência através da realização de pesquisa bibliográfica, observação, execução de experiências, individualmente ou em equipa, avaliação dos resultados obtidos, planeamento e realização de investigações, elaboração e interpretação de representações gráficas onde os alunos utilizem dados estatísticos e matemáticos.

-Conhecimento epistemológico - propõem a análise e debate de relatos de descobertas científicas, nos quais se evidenciem êxitos e fracassos, persistência e modos de trabalho de diferentes cientistas, influências da sociedade sobre a Ciência, possibilitando ao aluno confrontar, por um lado, as explicações científicas com as do senso comum, por outro, a ciência, a arte e a religião.

*Raciocínio:*

Sugerem sempre que possível, situações de aprendizagem centradas na resolução de problemas, com interpretação de dados, formulação de problemas e de hipóteses, planeamento de investigações, previsão e avaliação de resultados, estabelecimento de comparações, realização de inferências, generalização e dedução. Tais situações devem promover o pensamento de uma forma criativa e crítica, relacionando evidências e explicações, confrontando diferentes perspectivas de interpretação

científica, construindo e/ou analisando situações alternativas que exijam a proposta e a utilização de estratégias cognitivas diversificadas.

*Comunicação:*

Propõem experiências educativas que incluem uso da linguagem científica, mediante a interpretação de fontes de informação diversas com distinção entre o essencial e o acessório, a utilização de modos diferentes de representar essa informação, a vivência de situações de debate que permitam o desenvolvimento das capacidades de exposição de ideias, defesa e argumentação, o poder de análise e de síntese e a produção de textos escritos e/ou orais onde se evidencie a estrutura lógica do texto em função da abordagem do assunto. Sugere-se que estas experiências educativas contemplem também a cooperação na partilha de informação, a apresentação dos resultados de pesquisa, utilizando, para o efeito, meios diversos, incluindo as novas tecnologias de informação e comunicação.

*Atitudes:*

Apelam para a implementação de experiências educativas onde o aluno desenvolva atitudes inerentes ao trabalho em Ciência, como sejam a curiosidade, a perseverança e a seriedade no trabalho, respeitando e questionando os resultados obtidos, a reflexão crítica sobre o trabalho efectuado, a flexibilidade para aceitar o erro e a incerteza, a reformulação do seu trabalho, o desenvolvimento do sentido estético, de modo a apreciar a beleza dos objectos e dos fenómenos físico-naturais, respeitando a ética e a sensibilidade para trabalhar em Ciência, avaliando o seu impacto na sociedade e no ambiente.

### 2.3.2. Ensino Secundário (ES)

Segundo o programa de Física e Química A do 10º ou 11º ano, o ES assume uma dupla função:

- um ciclo escolar para início da actividade profissional (ligada ou não à natureza dos estudos aí desenvolvidos);
- uma via para prosseguimento de estudos.

O ES deve ter em conta o que é contemplado pelo Ensino Básico, valorizando aprendizagens anteriores dos alunos, alargando os seus conhecimentos, criando estímulos para o trabalho individual, aumentando-lhes a auto-estima e ajudando-os a prepararem-se para percursos de trabalho cada vez mais independentes.

Deve, consciencializar o aluno para o papel da Física e da Química na explicação de fenómenos do mundo que os rodeia, assim como na sua relação íntima com a Tecnologia.

O currículo de Física e Química A do 10º ou 11º ano, apresenta, para o desenvolvimento dos alunos os seguintes objectivos gerais:

- Caracterizar o objecto de estudo da Física e da Química enquanto Ciências;
- Compreender conceitos (físicos e químicos) e a sua interligação, leis e teorias;
- Compreender a importância de ideias centrais, tais como as leis de conservação e a tabela periódica dos elementos químicos;
- Compreender o modo como alguns conceitos físicos e químicos se desenvolveram, bem como algumas características básicas do trabalho científico necessárias ao seu próprio desenvolvimento;
- Compreender alguns fenómenos naturais com base em conhecimento físico e/ou químico;

- Conhecer marcos importantes na História da Física e da Química;
- Reconhecer o impacto do conhecimento físico e químico na sociedade;
- Diferenciar explicação científica de não científica;
- Referir áreas de intervenção da Física e da Química em contextos pessoais, sociais, políticos, ambientais...;
- Interpretar a diversidade de materiais existentes e a fabricar;
- Desenvolver competências sobre processos e métodos da Ciência, incluindo a aquisição de competências práticas/laboratoriais/experimentais.

Salienta ainda que através desta disciplina os alunos poderão ainda desenvolver aprendizagens importantes no que respeita à formação no domínio da Ciência, mas que a superam largamente por se inserirem num quadro mais vasto de Educação para a Cidadania Democrática. São elas:

- Compreender o contributo das diferentes disciplinas para a construção do conhecimento científico, e o modo como se articulam entre si;
- Desenvolver a capacidade de seleccionar, analisar, avaliar de modo crítico, informações em situações concretas;
- Desenvolver capacidades de trabalho em grupo: confrontação de ideias, clarificação de pontos de vista, argumentação e contra-argumentação na resolução de tarefas, com vista à apresentação de um produto final;
- Desenvolver capacidades de comunicação de ideias oralmente e por escrito;
- Ser crítico e apresentar posições fundamentadas quanto à defesa e melhoria da qualidade de vida e do ambiente;
- Desenvolver o gosto por aprender;

Ressalta também a importância das competências a desenvolver pelos alunos através da preparação, realização e avaliação de actividades práticas:

*Competências do tipo processual:*

- Seleccionar material de laboratório adequado a uma actividade experimental;

- Construir uma montagem laboratorial a partir de um esquema ou de uma descrição;

- Identificar material e equipamento de laboratório e explicar a sua utilização/função;

- Manipular com correcção e respeito por normas de segurança, material e equipamento;

- Recolher, registar e organizar dados de observações (quantitativos e qualitativos) de fontes diversas, nomeadamente em forma gráfica;

- Executar, com correcção, técnicas previamente ilustradas ou demonstradas;

- Expressar um resultado com um número de algarismos significativos compatíveis com as condições da experiência e afectado da respectiva incerteza absoluta.

*Competências do tipo conceptual:*

- Planear uma experiência para dar resposta a uma questão - problema;

- Analisar dados recolhidos à luz de um determinado modelo ou quadro teórico;

- Interpretar os resultados obtidos e confrontá-los com as hipóteses de partida e/ou com outros de referência;

- Discutir os limites de validade dos resultados obtidos respeitantes ao observador, aos instrumentos e à técnica usados;
- Reformular o planeamento de uma experiência a partir dos resultados obtidos;
- Identificar parâmetros que poderão afectar um dado fenómeno e planificar modo(s) de os controlar;
- Formular uma hipótese sobre o efeito da variação de um dado parâmetro;
- Elaborar um relatório (ou síntese, oralmente ou por escrito, ou noutros formatos) sobre uma actividade experimental por si realizada;
- Interpretar simbologia de uso corrente em Laboratórios de Química (regras de segurança de pessoas e instalações, armazenamento, manipulação e eliminação de resíduos).

*Competências do tipo social, atitudinal e axiológico:*

- Desenvolver o respeito pelo cumprimento de normas de segurança: gerais, de protecção pessoal e do ambiente;
- Apresentar e discutir na turma propostas de trabalho e resultados obtidos;
- Utilizar formatos diversos para aceder e apresentar informação, nomeadamente as TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação);
- Reflectir sobre pontos de vista contrários aos seus;
- Rentabilizar o trabalho em equipa através de processos de negociação, conciliação e acção conjunta, com vista à apresentação de um produto final;
- Assumir responsabilidade nas suas posições e atitudes;
- Adequar ritmos de trabalho aos objectivos das actividades.

## 2.4. Estratégia didáctica do estudo

Esta dissertação enquadra-se, tanto no Ensino Básico como no Ensino Secundário.

No que diz respeito ao Ensino Básico insere-se no terceiro dos quatro temas gerais dos programas de ciências do 3º Ciclo do Ensino Básico, "Sustentabilidade na Terra" que implica o conhecimento dos recursos existentes e a sua gestão, para um desenvolvimento sustentável, tendo em conta a diversidade de ambientes físicos, biológicos, sociais, económicos e éticos. Mais especificamente no seu sub-tema "Mudança global" uma vez que se faz a descrição e previsão do tempo atmosférico e se propõe o uso de instrumentos simples, como por exemplo, anemómetros, pluviómetros ou higrómetros e utilizá-los na escola, assim como o tratamento de dados obtidos através de instrumentos meteorológicos, e ainda a pesquisa sobre as formas de recolha de dados em meteorologia e sobre o papel dos satélites meteorológicos.

No Ensino Secundário insere-se no currículo de Física e Química A do 10º ou 11º ano, componente de Física, em dois módulos, "módulo inicial" e "unidade 1".

No "módulo inicial - das fontes de energia ao utilizador" por se desenvolver em torno da compreensão da Lei da Conservação da Energia, permitindo o enquadramento de diversos conceitos (de áreas como a Termodinâmica, a Mecânica e a Electricidade) numa perspectiva de Educação Ambiental. Organizandose em torno de duas ideias fundamentais - a conservação e a degradação da energia, onde se salienta a aplicação da Lei da Conservação da Energia a situações do dia a dia, efectuando balanço energético, e através da observação e interpretação de transferência e

transformação de energia, usando diferentes tipos de materiais (conjuntos laboratoriais, brinquedos e pequenos electrodomésticos).

Na "unidade 1 - do Sol ao aquecimento" uma vez que esta unidade tem como objectivo central a compreensão dos fenómenos que ocorrem na Natureza. Propõe o contexto global de fenómenos de aquecimento do quotidiano, começando pelo aquecimento da Terra em que se destaca o papel essencial da radiação solar. Aborda ainda a emissão e absorção de radiação, acompanhados da interpretação física da lei de Stefan-Boltzmann. No que se refere ao trabalho prático interpreta mudanças de estado físico (fusão, vaporização, condensação, solidificação e sublimação) através da quantidade de energia necessária à mudança de estado físico de uma unidade de massa de uma substância como uma característica desta.

Tendo em conta tudo isto e de forma a ir de encontro com as orientações da didáctica estuda-se a evaporação como "braço" que liga o ciclo hidrológico. Actualmente a evaporação está a ser condicionada pelas alterações climáticas que, como vimos anteriormente, é uma das principais preocupações Mundiais.

Assim, e atendendo também aos novos programas, é crucial estudar os fenómenos que nos rodeiam numa perspectiva CTS-A (Ciência, Tecnologia Sociedade e Ambiente), dando assim um passo em frente no que se refere a contextualizar expressões e relacionar os diferentes conceitos, para uma completa compreensão dos fenómenos e proporcionar ao estudante uma real, suave e motivadora aprendizagem.

Assim, a evaporação, como elemento importante no planeamento de várias actividades, e indo de encontro à Perspectiva de Ensino por Pesquisa, parte de uma situação problemática como por exemplo: "Será que a partir de dados meteorológicos registados numa estação meteorológica, é possível



estimar a evaporação de uma superfície livre de água"? Partindo desta questão-problema e uma vez que esta necessita da recolha de dados meteorológicos, a orientação é para o Trabalho de Campo (ida a uma estação meteorológica), que como foi dito anteriormente, potencia as situações escolares, trabalhando de maneira integrada, oferecendo aos alunos vivências em situações mais amplas. Essas vivências somam novos conteúdos ao tema tratado, proporcionam experiências ricas, além de favorecerem a autonomia.

Faz-se ainda a "simulação" do ciclo hidrológico em laboratório, uma vez que a evaporação é um dos processos e elos essenciais do "ciclo".

Recorremos assim ao Trabalho Experimental (Trabalho de Campo e ao Trabalho Laboratorial) que pode desempenhar um papel fundamental na Educação em Ciência, já que desenvolve capacidades de resolução de problemas, de investigação, e favorece a construção dos conceitos teóricos e a compreensão do trabalho científico. Diversificam-se ainda estratégias seguindo uma Perspectiva de Ensino por Pesquisa e o desenvolvimento de várias competências e concretização de objectivos propostos pelas orientações curriculares, já mencionados anteriormente, como por exemplo:

*Competências:*

- Desenvolver a capacidade de seleccionar, analisar, avaliar de modo crítico, informações em situações concretas;

- Desenvolver capacidades de trabalho em grupo: confrontação de ideias, clarificação de pontos de vista, argumentação e contra-argumentação na resolução de tarefas, com vista à apresentação de um produto final;

- Desenvolver o gosto por aprender;

- Seleccionar material de laboratório adequado a uma actividade experimental;
- Construir uma montagem laboratorial a partir de um esquema ou de uma descrição;
- Identificar material e equipamento de laboratório e explicar a sua utilização/função;
- Manipular com correcção e respeito por normas de segurança, material e equipamento;
- Recolher, registar e organizar dados de observações (quantitativos e qualitativos) de fontes diversas, nomeadamente em forma gráfica;
- Planear uma experiência para dar resposta a uma questão-problema;
- Analisar dados recolhidos à luz de um determinado modelo ou quadro teórico;
- Interpretar os resultados obtidos e confrontá-los com as hipóteses de partida e/ou com outros de referência;
- Discutir os limites de validade dos resultados obtidos respeitantes ao observador, aos instrumentos e à técnica usados;
- Elaborar um relatório (ou síntese, oralmente ou por escrito, ou noutros formatos) sobre uma actividade experimental por si realizada;
- Desenvolver o respeito pelo cumprimento de normas de segurança: gerais, de protecção pessoal e do ambiente;
- Apresentar e discutir na turma propostas de trabalho e resultados obtidos;
- Utilizar formatos diversos para aceder e apresentar informação, nomeadamente as TIC;
- Reflectir sobre pontos de vista contrários aos seus;
- Adequar ritmos de trabalho aos objectivos das actividades.

*Objectivos:*

- Caracterizar o objecto de estudo da Física e da Química enquanto Ciências;
- Compreender conceitos (físicos e químicos) e a sua interligação, leis e teorias;
- Compreender alguns fenómenos naturais com base em conhecimento físico e/ou químico;
- Reconhecer o impacto do conhecimento físico e químico na sociedade;
- Diferenciar explicação científica de não científica;
- Referir áreas de intervenção da Física e da Química em contextos pessoais, sociais, políticos, ambientais;
- Interpretar a diversidade de materiais existentes e a fabricar;
- Desenvolver competências sobre processos e métodos da Ciência, incluindo a aquisição de competências práticas/laboratoriais/experimentais.



### **3. Enquadramento teórico**





### 3.1. Introdução

As constantes mudanças do tempo atmosférico, as suas causas e a sua previsão sempre despertaram o interesse da humanidade. A meteorologia, ciência que estuda os fenómenos da atmosfera possibilita actualmente a todos os cidadãos, a previsão do estado do tempo.

Jornais, revistas e televisão informam-nos dessa previsão do tempo atmosférico de uma forma muito sucinta e clara. Mas para que ela seja possível, os meteorologistas dispõem de inúmeras medições de pressão, temperatura, humidade relativa do ar... (efectuadas nas mais variadas partes da Terra). São informações registadas em estações meteorológicas, imagens recolhidas por satélites meteorológicos, balões-sonda e radares.

Por considerarmos interessante para o leitor, decidimos apresentar, neste capítulo, algumas definições que servem de alicerce à compreensão de fenómenos físicos que serão apresentados ao longo desta dissertação.

### 3.2. A Atmosfera

A atmosfera terrestre corresponde à camada gasosa que envolve a Terra. Esta camada divide-se em subcamadas. Nós estamos particularmente interessados na Troposfera, que é a subcamada mais próxima da superfície terrestre e a mais importante para nós e para os meteorologistas. Esta subcamada é constituída maioritariamente por Azoto ( $N_2$ ) e oxigénio ( $O_2$ ), no entanto não são os constituintes maioritários do ar que influenciam o estado do tempo, pois conservam-se praticamente constantes em qualquer local do planeta. São os constituintes minoritários da Troposfera, em especial a água ( $H_2O$ ), nos diferentes estados físicos que têm grande influência no estado do tempo atmosférico.

### 3.3. Ar húmido

A quantidade de vapor de água existente no ar húmido varia de um local para outro e até no mesmo local, dependendo do dia, do mês ou da estação do ano, ao contrário dos restantes gases constituintes do ar, cuja concentração se mantêm praticamente constante. Por este motivo podemos distinguir o ar em dois tipos, o ar seco, quando consideramos o ar constituído pelos seus gases (oxigénio, azoto, dióxido de carbono...) mas não incluímos o vapor de água, e o ar húmido quando além do ar seco incluímos o vapor de água. Como é a água existente na atmosfera (nos vários estados físicos) que condiciona a formação de nuvens, nevoeiro, chuva... é importante conhecer a quantidade de vapor de água que existe na atmosfera, num dado local.

#### 3.3.1. Humidade absoluta ou massa volúmica

Chama-se humidade absoluta ou massa volúmica do vapor,  $\rho$ , à massa de vapor de água,  $m$ , que existe num dado volume de ar,  $v$ . Exprime-se, habitualmente, em  $\text{g.m}^{-3}$ .

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.01)$$

A quantidade de vapor de água que pode existir num dado volume unitário de ar nunca ultrapassa um determinado valor, pois a pressão parcial de vapor de saturação depende da temperatura do ar. O valor máximo da humidade absoluta do ar a uma dada temperatura chama-se ponto de saturação do ar a essa temperatura.

### 3.3.2. Equação de estado

Considerando que  $p$  corresponde à pressão absoluta a que está sujeito um gás, a que corresponde uma quantidade de substância  $n$  que ocupa um volume  $v$  e a uma temperatura  $T$ , a sua equação de estado é dada por

$$pv = nRT \quad (3.02)$$

onde  $R$  representa a constante dos gases perfeitos cujo valor é  $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . A expressão (3.0.2) chama-se equação de estado dos gases perfeitos.

Sabendo que  $m$  representa a massa do gás considerado e que  $M$  a massa molar desse gás a expressão (3.0.2) torna-se

$$pv = \frac{m}{M} RT \quad (3.03)$$

Atendendo a que a massa volúmica do gás é dada pela expressão (3.01) resulta

$$p = \rho \frac{R}{M} T \quad (3.04)$$

Nesta última forma, a equação de estado dos gases perfeitos é independente da quantidade de substância do gás considerado. Assim sendo, é possível relacionar a pressão, o volume específico ou massa volúmica e a temperatura de qualquer gás. Este facto é de enorme importância, porque dentro de certas condições, todos os gases, seguem aproximadamente a mesma equação de estado.

Para o ar seco a equação de estado pode ser escrita na forma



$$p_a = \rho_a R_a T \quad (3.05)$$

onde o índice  $a$  representa o ar seco.

Na expressão (3.05),  $p_a$  representa a pressão parcial exercida pelo ar seco,  $R_a = \frac{R}{M} = 287 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$  a constante particular para o ar seco e  $\rho_a$  a massa volúmica do ar seco.

Para o vapor de água (na fase de vapor o comportamento da água na atmosfera aproxima-se do comportamento de um gás perfeito), a equação de estado é escrita na forma

$$e = \rho_w R_w T \quad (3.06)$$

onde o índice  $w$  representa o vapor de água. Na equação (3.06)  $e$  representa a pressão parcial exercida pelo vapor de água (a pressão parcial de um gás é a pressão que ele exerceria à mesma temperatura da amostra se ocupasse homogeneamente todo o volume ocupado pela mistura),  $\rho_w$  a massa volúmica do vapor de água e  $R_w$  a constante particular do vapor de água, cujo valor é de  $461 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$  ( $R_w = \frac{R}{M_w}$ ).

A relação entre a constante particular do ar seco e a constante particular do vapor de água é representada pela letra  $\varepsilon$  e o seu valor é dado por,

$$\varepsilon = \frac{R_a}{R_w} = 0,622 \quad (3.07)$$

### 3.4. Termodinâmica do ar húmido

#### 3.4.1. Lei de Dalton

Atendendo à Lei de Dalton, a pressão exercida a um determinado nível da atmosfera pelo ar húmido é dada pela soma das pressões parciais do ar seco e do vapor de água, caso ocupassem sozinhos todo o volume da mistura à temperatura considerada. Assim sendo, a pressão do ar húmido a uma dada altitude é dada por

$$p = p_a + e \quad (3.08)$$

Nestes termos, o valor da pressão do ar húmido é o valor da pressão atmosférica, ou seja o valor registado pelo barómetro. É uma pressão absoluta.

O valor da pressão parcial de vapor de água a uma dada temperatura pode ser avaliado de duas maneiras: consulta directa de ábacos e/ou tabelas ou aplicação da equação de Clausius-Clapeyron. Neste caso, é útil recorrer ao "par" de dados experimentais, ou seja aos valores da pressão parcial de vapor de saturação para uma temperatura de  $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a que corresponde  $e = 6,11\text{ hPa}$ .

O valor da pressão parcial do ar seco pode ser avaliado atendendo aos valores da pressão atmosférica e pressão parcial do vapor de água e é dada por

$$p_a = p - e \quad (3.09)$$

Para os valores registados da temperatura na Troposfera é uma boa aproximação considerar desprezável a pressão parcial de saturação de vapor em face do valor da pressão registada no barómetro.

### 3.4.2. Pressão de saturação do vapor em relação à superfície líquida

Considere-se o recipiente, como se ilustra na Figura 3.01, isolado, contendo água no estado líquido e ar a uma determinada temperatura.

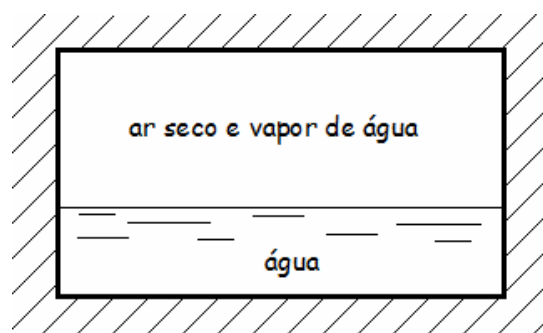


Figura 3.01 - Vapor de água em equilíbrio com uma superfície plana

De uma maneira simples o processo indicado na Figura 3.01, pode ser explicado como se segue. As moléculas do líquido, em particular as moléculas da camada superficial, encontram-se em permanente agitação e algumas conseguem escapar-se, formando moléculas de vapor de água. Por outro lado, algumas moléculas de vapor de água colidem com a superfície líquida e aí se fixam. Portanto, a condensação e a evaporação verificam-se simultaneamente. Para uma dada temperatura, atingir-se-á uma condição de equilíbrio quando os dois processos se produzirem à mesma taxa. Nesta situação, a temperatura do ar seco e do vapor de água será igual à temperatura do líquido, e no balanço, não haverá transferência de uma face para a outra e vice-versa. Diz-se então que o ar húmido (ar seco e vapor de

água) acima do líquido (água) está saturado de vapor de água em relação à superfície líquida, e a pressão parcial do vapor, nestas condições, designa-se por pressão ou tensão de saturação do vapor,  $e_s$ , em relação à superfície líquida.

As pressões de saturação do vapor dependem da temperatura e aumentam rapidamente com o aumento da temperatura.

Para passar da fase líquida à fase de vapor é necessário fornecer energia sob a forma de calor ao sistema dado que, à mesma temperatura, a energia cinética das moléculas de vapor é maior do que a energia cinética das moléculas de líquido. Chama-se calor de transformação  $L$ , à quantidade de calor necessária para converter a unidade de massa de líquido em vapor, mantendo constantes a pressão e a temperatura.

A mudança de estado de uma substância é um processo isotérmico e isobárico. A pressão parcial de vapor depende apenas da temperatura.

Combinando as equações que definem o primeiro e o segundo princípio da Termodinâmica, vem

$$\delta q = du + p dv \Leftrightarrow \delta q = T ds \quad (3.10)$$

Se os índices 1 e 2, representarem duas fases de uma substância, coexistindo em equilíbrio, ou seja numa mudança de fase, resulta

$$L = \int_{q_1}^{q_2} \delta q \Leftrightarrow L = \int_{s_1}^{s_2} T ds \Leftrightarrow \int_{s_1}^{s_2} T ds = \int_{u_1}^{u_2} du + \int_{v_1}^{v_2} p dv \quad (2.11)$$

Atendendo a que a mudança de fase é isobárica e isotérmica, e que  $L_{1 \rightarrow 2}$  corresponde ao calor de transformação na mudança de fase considerada, obtém-se

$$L_{1 \rightarrow 2} = T(s_2 - s_1) \Leftrightarrow T(s_2 - s_1) = u_2 - u_1 + p(v_2 - v_1) \quad (3.12)$$

e

$$Ts_2 - u_2 - pv_2 = Ts_1 - u_1 - pv_1 \quad (3.13)$$

Se a expressão (3.13) for diferenciada resulta

$$Tds_2 + s_2dT - du_2 - v_2dp - pdv_2 = Tds_1 + s_1dT - du_1 - v_1dp - pdv_1 \quad (3.14)$$

mas como  $\delta q_i = Tds_i$  e  $\delta q_i = du_i + pdv_i$ , a expressão (3.14) reduz-se a

$$s_2dT - v_2dp = s_1dT - v_1dp \quad (3.15)$$

ou seja

$$\frac{dp}{dT} = \frac{s_2 - s_1}{v_2 - v_1} \quad (3.16)$$

No caso da transição do estado líquido (índice 1) para o estado gasoso (índice 2), deve-se substituir  $p$  por  $e_s$  (pressão de saturação de vapor).

Atendendo à expressão (3.12) e particularizando para o caso em análise, vem

$$s_2 - s_1 = \frac{L_{1 \rightarrow 2}}{T} \quad (3.17)$$

onde  $L_{1 \rightarrow 2}$  corresponde ao calor de transformação.

Se a expressão (3.17) for introduzida na expressão (3.16), obtém-se a Equação de Claussius-Clapeyron na forma

$$\frac{de_s}{dT} = \frac{L_{1 \rightarrow 2}}{T(v_2 - v_1)} \quad (3.18)$$

Na atmosfera o volume específico da água,  $v_1$ , é desprezável em face do volume específico do vapor de água,  $v_2$ , e assumindo, como já referido, que o vapor de água se comporta como um gás perfeito, a expressão (3.18) pode ter o aspecto

$$\frac{de_s}{dT} = \frac{L_{1 \rightarrow 2} e_s}{R_w T^2} \quad (3.19)$$

Se o calor de transformação  $L_{1 \rightarrow 2}$  for considerado como constante (é uma boa aproximação na atmosfera) e se a expressão (3.19) for integrada entre o estado inicial  $(T_0, e_{s_0})$  e o estado final  $(T, e_s)$ , vem

$$\ln \frac{e_s}{e_{s_0}} = \frac{L}{R_w} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (3.20)$$

em que  $e_{s_0}$  representa a pressão de saturação de vapor correspondente à temperatura  $T_0$ .

Experimentalmente, como já referido obtém-se uma  $e_{s_0} = 6,11$  hPa para uma  $T_0 = 273,15$  K.

Para a atmosfera o valor típico aceite para  $L$  é de  $2,5 \times 10^6$  J kg<sup>-1</sup>.

Se estes valores forem introduzidos na expressão (3.20) e sabendo que  $R_w$  é igual a 461 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, resulta

$$e_s = 6,11 e^{19,84 \left( 1 - \frac{273,15}{T + 273,15} \right)} \quad (3.21)$$

Na expressão (3.21) a temperatura é expressa em °C e a pressão parcial de vapor em hPa (a letra  $e$  inserida no segundo membro da

expressão não deve ser confundida por pressão parcial. O valor de  $e$ , número neperiano, é 2,718281828...

Adicionalmente, a expressão (3.21) mostra que a pressão de saturação de vapor é exclusivamente função da temperatura.

### 3.5. Condições higrométricas do ar húmido

#### 3.5.1. Razão de mistura

A razão de mistura é a massa de vapor de água por unidade de massa de ar seco e é obtida pela expressão,

$$r = \frac{m_w}{m_a} = \frac{\rho_w}{\rho_a} \quad (3.22)$$

em que  $m_w$  representa a massa de vapor de água,  $m_a$  a massa de ar seco,  $\rho_w$  a massa volúmica do vapor de água e  $\rho_a$  a massa volúmica do ar seco.

Se na expressão (3.22) for introduzida a expressão (3.05), (3.06) e (3.09) obtêm-se

$$r = 0.622 \frac{e}{p - e} \quad (3.23)$$

Conforme já foi referido, na atmosfera o valor de  $p$  é muito superior à pressão parcial de vapor,  $e$ , pelo que para as temperaturas registadas se pode desprezar  $e$  em face de  $p$ . Nestes termos a expressão (3.23) torna-se

$$r = 0.622 \frac{e}{p} \quad (3.24)$$

A razão de mistura é expressa em gramas de vapor de água por quilograma de ar seco ( $\text{g.kg}^{-1}_{\text{ar seco}}$ ).

A pressão parcial de vapor a uma dada temperatura pode ser obtida através de tabelas (ver Anexo 1), ábacos disponível na literatura da especialidade ou por aplicação da equação de Clausius-Clapeyron.

### 3.5.2. Razão de mistura de saturação

No caso do ar saturado, ou seja quando uma certa quantidade de ar húmido não consegue "absorver" mais vapor de água sem que o vapor de água mude de estado, a razão de mistura é dada por

$$r_s = \varepsilon \frac{e_s}{p - e_s} \quad (3.25)$$

em que  $r_s$  representa a razão de mistura de saturação expressa em  $\text{g.kg}^{-1}_{\text{ar seco}}$ .

Para as temperaturas registadas na atmosfera o valor da pressão parcial de saturação,  $e_s$ , pode ser desprezado em face da pressão,  $p$ , registada. Assim, a expressão simplificada

$$r_s = 0,622 \frac{e_s}{p} \quad (3.26)$$

dá bons resultados, quando é usada.



### 3.5.3. Humidade relativa

O índice mais conhecido para expressar a quantidade de vapor de água na atmosfera é a humidade relativa. Chama-se humidade relativa ao quociente, expresso em percentagem, entre a massa de vapor de água existente num certo volume de ar à temperatura considerada e a quantidade máxima que existiria se o ar estivesse saturado ou seja, é dada pelo quociente entre a razão de mistura  $r$  e a razão de mistura de saturação  $r_s$ ,

$$HR = \frac{r}{r_s} 100 \quad (3.27)$$

Atendendo às expressões simplificadas (3.24) e (3.26) é possível obter o valor da humidade relativa, também, a partir da expressão

$$HR \cong \frac{e}{e_s} 100 \quad (3.28)$$

em que na expressão (3.28) a pressão parcial de vapor,  $e$ , corresponde à temperatura do ponto de orvalho e a pressão de saturação,  $e_s$ , corresponde à temperatura do ar.

A humidade relativa indica se o ar húmido está "próximo" ou "longe" da saturação, ou seja se está com menos ou mais poder de "absorção" de vapor de água.

### 3.5.4. Temperatura do ponto de orvalho

A temperatura do ponto de orvalho,  $T_d$ , é a temperatura até á qual o ar húmido deve ser arrefecido, a pressão e razão de mistura constantes, para que atinja a saturação em relação à água líquida, ou seja, o ponto de

orvalho é a temperatura à qual a razão de mistura  $r$  em relação à água se torna igual à razão de mistura  $r_s$  à mesma temperatura.

A temperatura do ponto de orvalho é um bom indicador do conteúdo do vapor de água existente no ar húmido.

### 3.5.5. Temperatura do termómetro molhado

A temperatura do termómetro molhado,  $T_w$ , é a temperatura até à qual uma partícula de ar tem de ser arrefecida por evaporação de água no seu seio, a pressão constante, para que o ar se torne saturado. A temperatura do termómetro molhado é medida directamente com um termómetro cujo bolbo está coberto com tecido húmido ou musseline que permite pela passagem do ar a evaporação da água. Verifica-se sempre que  $T \geq T_w \geq T_d$ . O sinal "igual" corresponde à situação de saturação, que é um nível de condensação. Se a temperatura do ar for inferior à temperatura do ponto de orvalho o processo de condensação é iniciado e dá-se a condensação do vapor de água em excesso, formando gotas de água.

## 3.6. Ciclo hidrológico

A água é a substância mais comum à superfície da Terra e é a base de toda a vida. A água existente no planeta Terra encontra-se em permanente transformação. As transformações que ocorrem na natureza são originadas pela energia recebida principalmente das seguintes fontes: Sol, interior da Terra, rios, oceanos, etc.

Apesar de apenas uma pequena fracção de energia emitida pelo Sol ser interceptada pela Terra, o Sol é o seu principal fornecedor de energia (IQBal, 1983). Fisicamente falando é como se o raio da "esfera" do Sol passasse a ter a distância entre o Sol e a Terra e, assim, apenas uma

insignificante área em forma de disco (da Terra) cobrisse a superfície da enorme "esfera" Sol. De facto, do ponto de vista do Sol a Terra é vista como um disco. A Terra não absorve toda a energia interceptada pois, devido ao albedo planetário (fracção da radiação solar reflectida), reflecte cerca de 30% (o albedo varia no espaço e no tempo, dependendo da superfície).

No entanto, a energia que a Terra absorve tem uma importância vital para as nossas actividades e nas diversas transformações que operam no nosso planeta, como por exemplo, no diferente aquecimento de zonas distintas da Terra onde se originam diferenças de pressão (centros de baixa e de alta pressão) que originam os ventos, no aquecimento e na evaporação da superfície livre da água dos oceanos. O vapor de água contido na atmosfera pode ser "deslocado" para outras regiões pela acção de ventos.

Se forem criadas condições adequadas para o arrefecimento dessas massas deslocadas de ar e se a temperatura do ar for inferior à temperatura do ponto de orvalho, formam-se gotículas de água, que por sua vez podem formar a base de uma nuvem, orvalho, neblina ou nevoeiro. Na atmosfera se a temperatura continuar a diminuir, as gotículas de água aumentam de tamanho e pode ocorrer precipitação.

Na prática, a água volta à superfície terrestre quando ocorre chuva, converge para os rios que a reconduz para os oceanos, fechando o "ciclo hidrológico", e tudo começa de novo. A Figura 3.02 tenta ilustrar de maneira simplista o "funcionamento" do ciclo hidrológico.

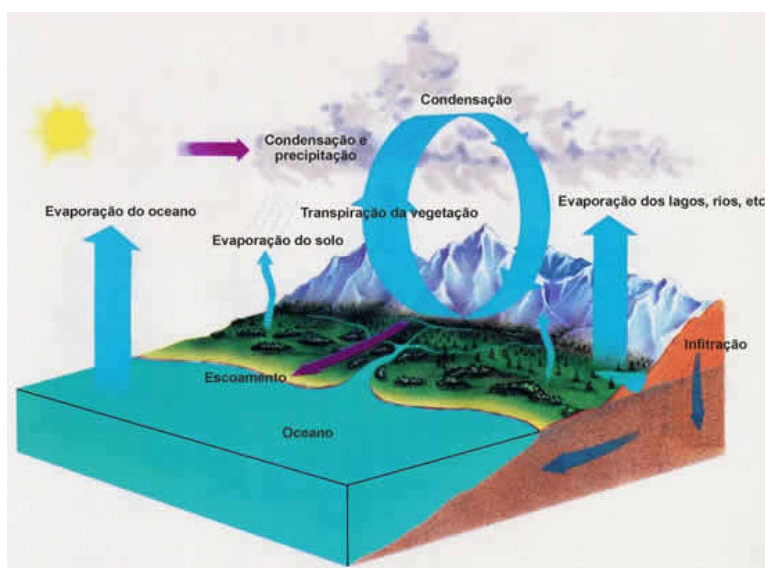


Figura 3.02 - ciclo hidrológico ([http://www.igc.usp.br/geologia/aguas\\_subterraneas.php](http://www.igc.usp.br/geologia/aguas_subterraneas.php))

### 3.7. Evaporação

A evaporação constitui uma das partes essenciais do ciclo hidrológico, uma vez que redistribui a água e a energia entre a superfície da terra e a atmosfera.

Designa-se por evaporação ao processo de passagem da água do estado líquido para o estado gasoso. Esta ocorre quando algumas moléculas de líquido "aquecidas" atingem uma energia suficiente para vencer a tensão superficial e assim se libertam da superfície do líquido. A energia provém essencialmente da radiação solar, no entanto a evaporação não depende unicamente da energia recebida, pois é também influenciada pela deslocação do ar que renova a camada de ar adjacente à superfície do líquido e, por isso é controlada pela diferença de tensão de vapor (pressão exercida pelo vapor em determinado volume) entre a camada da superfície de água e atmosfera (Dunne and Leopold, 1978).

Um dos processos mais usados para estimar a evaporação é a partir da utilização de tinas evaporimétricas, constituídas, por reservatórios de água, expostos a céu aberto ou seja às condições atmosféricas (Gelabert, 1984).

A literatura da especialidade mostra que existem inúmeros métodos para estimar a evaporação de uma superfície livre (ver por exemplo, Lencastre e Franco, 1992).

O método que será explorado nesta dissertação é, denominado balanço energético. Este método avalia fluxos energéticos tais como, da radiação solar incidente e reflectida, da energia armazenada, das trocas de energia entre a água e atmosfera, das trocas de energia entre a água e o solo e da energia gasta na evaporação. O processo é apresentado de forma esquemática na Figura 3.03

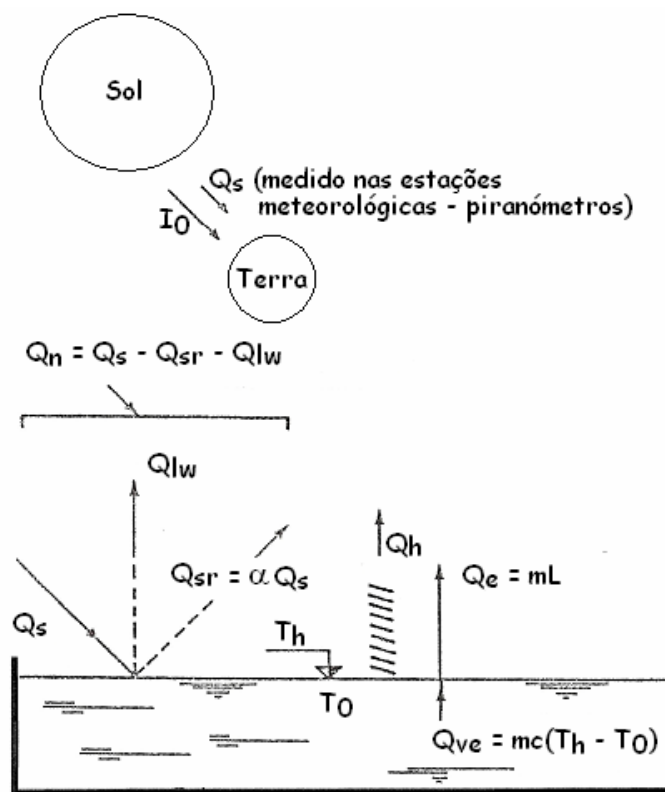


Figura 3.03 - Esquema das trocas de energia no processo de evaporação

Tendo por base o esquema da Figura 3.03 a equação geral do balanço energético pode ser escrita na seguinte forma

$$Q_s - Q_{sr} - Q_{lw} - Q_h - Q_e - Q_{ve} = 0 \quad (3.29)$$

em que  $Q_s$  representa a radiação solar incidente ou radiação global,  $Q_{sr}$  a radiação solar reflectida,  $Q_{lw}$  a radiação da massa de água para a atmosfera sob a forma de ondas longas,  $Q_h$  a energia transferida sob a forma de calor da massa de água para a atmosfera por efeitos de turbulência,  $Q_e$  a energia utilizada na evaporação e  $Q_{ve}$  a energia cedida pela massa de água através da água evaporada.

A radiação útil,  $Q_n$ , do ponto de vista de evaporação, é dada por

$$Q_n = Q_s - Q_{sr} - Q_{lw} \quad (3.30)$$

Nestes termos a expressão (3.29) reduz-se a

$$Q_n - Q_h - Q_e - Q_{ve} = 0 \quad (3.31)$$

A radiação solar incidente ou radiação global,  $Q_s$ , pode ser determinada usando a formula de Angström,

$$Q_s = I_0 \left( 0.29 \cos \lambda + 0.52 \frac{n}{N} \right) \quad (3.32)$$

em que  $I_0$  representa a radiação solar média recebida num plano horizontal no limite da atmosfera,  $n$  número de horas de sol registadas pelo heliógrafo,  $N$  o número máximo de horas possíveis com Sol e  $\lambda$  a latitude do lugar.

A radiação solar reflectida é calculada a partir de

$$Q_{sr} = \alpha Q_s \quad (3.33)$$

em que  $\alpha$  indica o albedo da superfície, que no nosso caso é a água (o valor típico aceite para a água é 0.06).

A energia "perdida" para a atmosfera pode ser avaliada a partir da lei de Stefan-Boltzmann, mas corrigida com dados do ar húmido. A expressão é dada por

$$Q_{lw} = \sigma T^4 \left[ 0.56 - 0.08 \sqrt{e_s(T) HR} \right] \left( 0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right) \quad (3.34)$$

em que  $\sigma$  representa a constante de Boltzmann ( $=1.17 \times 10^{-7} \text{ cal cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ dia}^{-1}$ ),  $T$  a temperatura média do ar,  $HR$  a humidade relativa do ar e  $e_s(T)$  a pressão parcial de vapor de água (em hPa) à temperatura  $T$ .

No Anexo 2 são indicadas tabelas que mostram valores típicos da radiação global em Portugal, da radiação solar média recebida num plano horizontal no limite superior da Atmosfera e da duração da insolação mensal máxima possível para a latitude de  $40^\circ \text{N}$ . De notar que Aveiro está localizada nas coordenadas geográficas  $40^\circ 38'$  latitude e  $8^\circ 40'$  de longitude.

Nesta dissertação procuramos investigar a aplicação de um balanço energético à tina de evaporação, usando dados registados na estação meteorológica da Universidade de Aveiro.

### 3.8. Viajando através da atmosfera

Podemos viajar através da atmosfera se imaginarmos estar “fixos” a uma sonda meteorológica que faz o seu percurso em altitude ou seja, se visualizarmos que estamos “fixos” a uma estação meteorológica clássica que deixa a superfície terrestre e ascende em altitude.

Normalmente, as sondas meteorológicas podem atingir altitudes variáveis, no entanto os dados registados estão limitados ao alcance da antena. Em Aveiro, os registos obtidos através de radiossondagem, têm tido um alcance de cerca de 16 km em altitude.

As radiossondagens são muito importantes pois ajudam a compreender a estrutura vertical da atmosfera e constituem a principal fonte de perfis verticais de dados meteorológicos atmosféricos. As medições efectuadas numa radiossondagem disponibilizam informações necessárias à análise do estado do tempo, previsão e alerta de condições meteorológicas adversas.

Durante a aquisição de dados é possível acompanhar visualmente, no monitor do computador e em tempo real, as variáveis meteorológicas que foram previamente seleccionadas.

O equipamento vulgarmente usado é um computador pessoal onde é instalado um programa elaborado para o efeito, uma interface de aquisição de dados ADAS AIR-3A (Atmospheric Data Acquisition System), uma antena de rádio (frequência de 403.5 MHz), uma sonda aerodinâmica AS-1A-PTH (pode ser outra, por exemplo só de leitura de temperatura) ligada por um fio a um balão (cheio com hélio; o hidrogénio também serve mas é perigoso) e um teodolito (segue o balão para registo da direcção e velocidade do vento).



A Figura 3.04 mostra um balão meteorológico e uma sonda meteorológica usados na Universidade de Aveiro.



Figura 3.04 - Balão meteorológico e sonda meteorológica

Na Figura 3.05 mostra-se uma fase de "lançamento" do balão - sonda.



Figura 3.05 - Fase de "lançamento" do balão - sonda

Interessante é saber que as radiossondagens, em todos os locais onde são efectuadas, são realizadas à mesma hora. A Figura 3.06 indica a

localização de "lançamento" à superfície da Terra (podem ser locais na terra ou locais em mar - plataformas). De notar que, para o dia 24 de Abril de 2007 às 06UTC, foram realizadas 29820 radiossondagens.

A informação recolhida de todas as radiossondagens permite conhecer como variam os parâmetros meteorológicos em altitude.

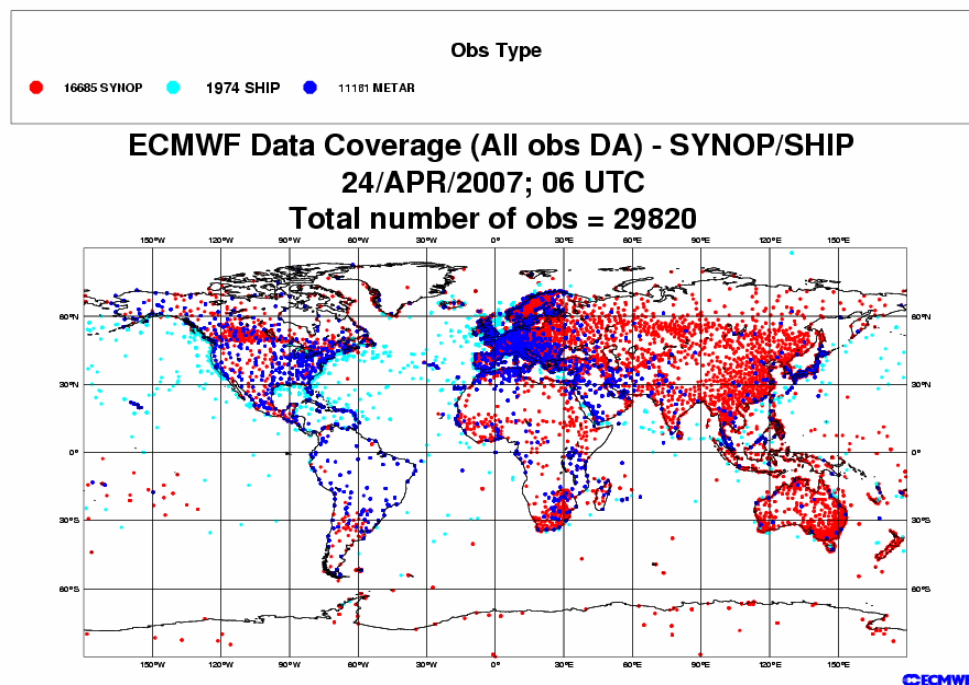


Figura 3.06 - Radiossondagens realizadas (<http://www.wmo.ch/web/www/OSY/GOS.html>)

As radiossondagens estão ligadas à previsão numérica do estado do tempo, como se ilustra na Figura 3.07.

Adicionalmente, na Figura 3.08 mostram-se satélites que, também, fazem parte da recolha de informação meteorológica.

Na Figura 3.09 é mostrado algum do equipamento que é usado na Universidade de Aveiro, para a realização de uma radiossondagem.

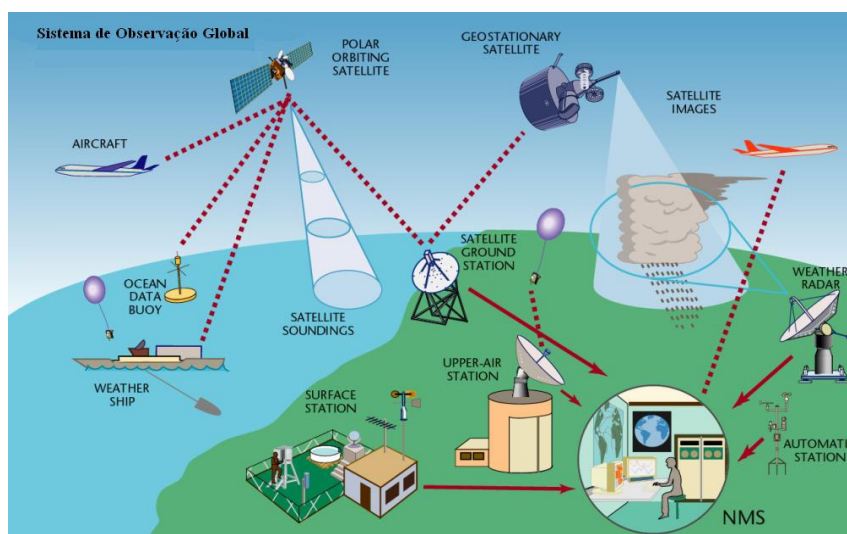


Figura 3.07 - Sistema de Observação Global  
(<http://www.wmo.ch/web/www/OSY/GOS.html>)



Figura 3.08 - Satélites meteorológicos

A Tabela 3.01 mostra alguns dados registados para Aveiro durante uma radiossondagem, em que ETIME representa o tempo (s), PHT a altitude (m), MR a razão de mistura ( $\text{g.kg}^{-1}$  ar seco), PR a pressão (hPa), DT a temperatura do termómetro seco ( $^{\circ}\text{C}$ ) e WT a temperatura do termómetro molhado ( $^{\circ}\text{C}$ ).

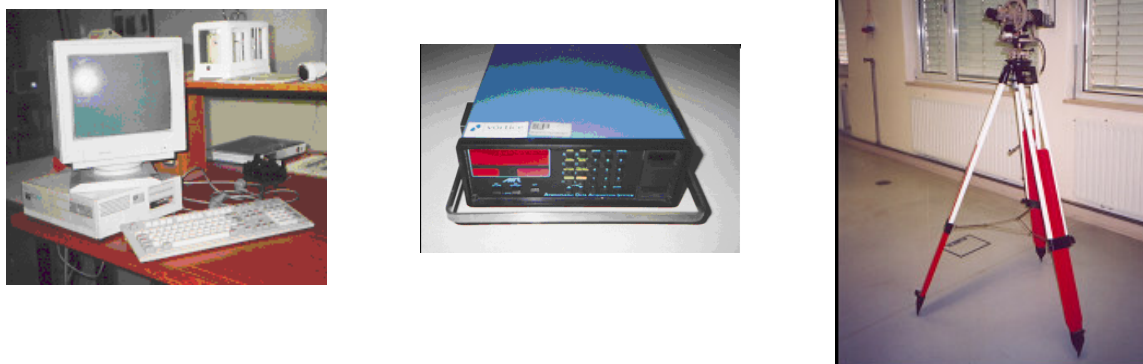


Figura 3.09 - Computador, ADAS e teodolito

Tabela 3.01 - Visualização dos dados registados

ETIME	PHT=M	MR=GM	PR=MB	DT=DC	WT=DC
659	24	9.93	1017.5	22.4	17.2
723	20	9.96	1018.0	21.4	16.8
746	23	9.69	1017.6	20.2	16.2
809	23	10.17	1017.6	19.7	16.4
833	112	9.95	1007.1	17.4	15.2
856	236	9.78	992.6	16.1	14.5
920	368	9.83	977.2	15.0	13.9

No geral, os resultados obtidos a partir de radiossondagens têm aplicabilidade directa na análise da estrutura vertical da atmosfera (uso de diagramas termodinâmicos), cartas meteorológicas (para diferentes níveis de pressão), cartas sinópticas; nas condições fronteira para modelos de previsão numéricos regionais e globais; nos modelos de dispersão de poluentes atmosféricos; na validação de dados meteorológicos registados via satélite e na investigação e estudo de impacto ambiental.

### 3.9. Estação meteorológica

As estações meteorológicas dispõem de diferentes instrumentos em função da variável medida. Podem ser classificadas como clássicas ou convencionais e automáticas.

As estações meteorológicas automáticas usam sensores electrónicos e por isso podem ser colocadas em qualquer lugar que possua uma fonte de energia eléctrica ou em alguns casos pode funcionar com baterias. Têm a vantagem de minimizar os custos de observação (não necessitam de um observador meteorológico afecto permanentemente à estação). Alguns dos sensores que incorporam são de temperatura, humidade relativa do ar, pressão, vento (rumo e intensidade), precipitação, etc. Os dados são colectados através de um computador, que os integra e envia para tratamento para o Instituto de Meteorologia ou para uma outra entidade responsável.

No nosso caso, os dados usados foram registados na Estação Meteorológica Clássica existente na Universidade de Aveiro [Esta estação, situada no Campus Universitário da Universidade de Aveiro, tem o número 102 da rede nacional de estações e entrou em funcionamento nos finais de 1980. A estação apresenta coordenadas geográficas de 40° 38' de latitude, 8° 40' de longitude e está 5 metros acima do nível médio das águas do mar. No início os dados eram registados às 9 horas e 15 horas TMG (dependendo da época do ano). Mais tarde, infelizmente e por questões económicas! os dados passaram a ser registados apenas às 9 horas TMG].

A Figura 3.10 mostra uma vista parcial da estação. Do lado esquerdo da figura pode-se observar duas torres com diferentes alturas e um contentor onde se faz a primeira recepção de dados da estação automática.





Figura 3.10 - Estação meteorológica da Universidade de Aveiro

A estação meteorológica clássica é constituída por diferentes instrumentos meteorológicos simples (de leitura discreta e de registo gráfico - valores no tempo). Alguns registos usam um prolongamento dos órgãos dos sentidos, nomeadamente a visão (por exemplo, a visibilidade horizontal e a nebulosidade). Durante a observação não devem ser cometidos erros de paralaxe.

### 3.9.1. Abrigo Meteorológico

A Figura 3.11 mostra o abrigo meteorológico e alguns instrumentos de medida.



Figura 3.11 - Abrigo meteorológico e alguns instrumentos de medida

O abrigo meteorológico é uma casa de madeira, cujas paredes são persianas que permitem a livre circulação do ar. Para a nossa investigação, só nos interessam os seguintes instrumentos meteorológicos de medida que estão colocados no interior do abrigo meteorológico: o termómetro de máxima, o termómetro de mínima, o termohigrógrafo e o psicrómetro. Os instrumentos de medida estão protegidos da radiação proveniente do Sol, do céu, da superfície terrestre e de objectos circundantes (a porta do abrigo meteorológico deve abrir para o Norte no Hemisfério Norte).

### ***Termómetro seco***

O Termómetro seco é um termómetro vulgar, mas sensível, que indica a temperatura real do ar no momento da observação.

### ***Termómetro molhado***

O termómetro molhado é semelhante ao termómetro seco, mas o seu bolbo é mantido húmido por meio de uma musseline que está mergulhada num reservatório que contém água destilada. Quanto “mais seco” estiver o ar, mais rápida será a evaporação da água do termómetro molhado, o que aumenta o efeito de arrefecimento, que é traduzido por uma maior diferença entre as temperaturas registadas pelo termómetro seco e termómetro molhado.

### ***Termohigrógrafo***

O termohigrógrafo regista a temperatura e a humidade relativa do ar no tempo. Os gráficos obtidos permitem avaliar como se comporta uma “parcela de ar” quando o céu está limpo ou encoberto.

### ***Termómetro de máxima***

O termómetro de temperatura máxima mais comum é um termómetro de mercúrio em vidro, com um estrangulamento no tubo abaixo da graduação mínima e, como o nome indica, regista o valor da temperatura máxima que ocorreu no intervalo de tempo considerado, normalmente nas últimas 24 horas. O funcionamento e preparação deste termómetro, é igual aos termómetros que eram usados para avaliar a temperatura do nosso corpo. O termómetro de temperatura máxima deve indicar a temperatura do termómetro seco após a sua preparação. Deve ser colocado sensivelmente na horizontal e no interior do abrigo meteorológico.

### ***Termómetro de mínima***

O termómetro de temperatura mínima mais comum é o termómetro de álcool. No interior do líquido existe um indicador de vidro escuro, muito leve e em forma de haltere que permite a leitura da temperatura mínima que ocorreu no intervalo de tempo considerado, normalmente nas últimas 24 horas. Deve ser colocado sensivelmente na horizontal e no interior do abrigo meteorológico.

### ***Higrómetro***

O higrómetro é um instrumento de medida utilizado na medição da humidade relativa do ar, ou conteúdo de vapor de água da atmosfera. O higrómetro (conhecido por psicrómetro) é constituído por um termómetro seco e um termómetro molhado. Os valores registados pelos dois termómetros, permitem avaliar directamente a humidade relativa do ar, usando tabelas apropriadas ou diagramas psicrométricos.



### 3.9.2. Tina de evaporimétrica de Classe "A"

A Tina de evaporação da Classe "A" é um tanque de forma cilíndrica e em ferro galvanizado. De acordo com as normas internacionais, tem cerca de 25,4cm de profundidade e cerca de 120,7cm de diâmetro interno e, esta assente sobre uma estrutura de ripas de madeira. O tanque deve ter água a um nível de cerca de 5cm abaixo da borda da tina. A medição da evaporação da linha de água é feita a partir do auxílio de um medidor de nível em forma de gancho acoplado a uma régua e escala com nónio. No interior da tina está colocado um cilindro oco com cerca de 10cm de diâmetro interno e cerca de 25cm de altura, destinado a anular a agitação da linha de água permitindo assim a correcta observação do nível de água. Deve ser reposto o nível de água quando sai da gama de tolerância.

Na Figura 3.12 mostra-se a tina evaporimétrica, anemómetros a duas alturas, udómetro, udografo e pormenores do sistema de leitura.



Figura 3.12 - Vista da tina evaporimétrica e sistema de medida

A leitura do valor da precipitação é determinante para o valor registado de evaporação. Assim, o pluviómetro permite registar a precipitação que corrige o valor determinado na tina (retira-se o valor da precipitação à diferença de nível de água para se conhecer a evaporação).

### 3.9.3. Anemómetro e cata-vento

Os anemómetros são instrumentos usados para a medição da intensidade do vento. Os anemómetros instalados são de contador ou totalizadores (são providos de um mecanismo semelhante ao conta quilómetros de um automóvel). Estes anemómetros, de tipo rotativo, dispõem de três conchas ou copos que estão equidistantes de um eixo de rotação. As conchas ou copos estão orientadas segundo um plano perpendicular à rotação. Para registar a direcção e sentido do vento são usados cata - ventos.

A Figura 3.13 mostra um pormenor de um anemómetro e o posicionamento de um anemómetro e de um cata-vento.



Figura 3.13 - Vista de um anemómetro e cata-vento

### 3.9.4. Udómetro e udografo

O udómetro é um instrumento de medida que mede a quantidade de água caída ao longo de determinado período, normalmente em 24 horas.

A Figura 3.14 mostra dois instrumentos que servem para medir a precipitação. Na figura do lado direito, o mais afastado (em profundidade) é o udómetro e o mais próximo é o udografo. A diferença entre eles está no gráfico que está instalado no udografo. Neste a precipitação é registada no tempo, permitindo conhecer em que horário ocorreu a precipitação e a maior intensidade.

De salientar que para o mesmo intervalo de tempo o udómetro e udografo devem registar o mesmo valor da precipitação.



Figura 3.14 - Udómetro e udografo

### 3.9.5. Heliógrafo

A radiação solar é principal fonte de energia do globo que directamente ou indirectamente influencia os processos físicos que ocorrem na atmosfera. Uma das medições necessárias para o estudo da radiação total que atinge a superfície terrestre é a medição da insolação (mede o número de horas do Sol). Para determinar os totais horários ou diários da insolação usa-se um Heliógrafo. A Figura 3.15 mostra este instrumento registador e uma fita diária “queimada”. Por exemplo, os espaços que não são “queimados” na folha de papel podem ser explicados pelo céu estar encoberto devido à passagem de uma nuvem (entre o Sol e a superfície terrestre). Na estação meteorológica da Universidade de Aveiro (latitude cerca de 40° Norte) são usadas três tiras de papel diferente em função da “altura” do Sol durante o ano.



Figura 3.15 - Heliógrafo e tira de papel para medir a insolação

### 3.9.6. Piranómetro

Instrumento que mede a radiação solar (radiação global) recebida de todo o hemisfério celeste sobre uma superfície horizontal terrestre. A Figura 3.16 mostra dois pormenores de um piranómetro.





Figura 3.16 - Piranómetro

### 3.9.7. Visibilidade meteorológica

A visibilidade meteorológica é definida como sendo a distância máxima a que se pode ver e identificar correctamente pelos seus contornos, contra o céu no horizonte, um objecto de dimensões convenientes. O observador meteorológico determina a visibilidade na horizontal e esta dá uma indicação da transparência da atmosfera usando apenas a visão humana (não se deve usar binóculos, telescópios ou teodolitos).

Na estação meteorológica clássica da Universidade de Aveiro o observador deve considerar três objectos localizados a Norte da estação e a diferentes distâncias. A observação é feita do "estrado" da estrutura da figura do lado direito mostrada na Figura 3.13.

### 3.9.8. Nebulosidade

A nebulosidade estima a quantidade de nuvens no céu. A unidade de quantidade das nuvens é o oitavo (oitavo do céu). A cada código numérico da escala faz-se corresponder a situação. Por exemplo, para um céu completamente limpo (nenhuma nebulosidade) o código numérico é zero. Na situação de céu completamente coberto, a escala indica o código 8. Nas estações meteorológicas onde se procede a leitura da nebulosidade é

disponível a tabela de códigos. A quantidade das nuvens deve ser avaliada supondo que as nuvens existentes se encontram juntas umas às outras formando uma camada contínua. Para fins de meteorologia é interessante anotar o tipo das nuvens observadas.

### 3.9.9. Barómetro

O barómetro de mercúrio é um instrumento de medida rigoroso (mede a pressão), no entanto, devido ao cuidado de manuseamento, não é de fácil transporte. A localização do barómetro de mercúrio deve ser escolhida com grande cuidado e o local deve ter boa iluminação, uma temperatura uniforme e ser colocado na posição vertical. O barómetro da Universidade de Aveiro está localizado na Laboratório da Atmosfera do Departamento de Física. Aí também se encontra um barógrafo metálico mais simples (designado barógrafo aneróide) que, embora menos rigoroso, tem a vantagem de ser portátil e compacto, permitindo o seu funcionamento em estações de mar ou de campo. Regista o valor da pressão no tempo. Deve ser calibrado, de tempos em tempos, contra o barómetro de mercúrio.

### 3.9.10. Gráficos de informação de registo de dados

Por considerarmos interessante e oportuno apresentamos algumas figuras com alguma informação acerca dos registos efectuados quando o observador se desloca à Estação Meteorológica Clássica. A Figura 3.17 mostra a capa da caderneta das observações. Para cada dia há espaços na caderneta que devem ser preenchidos. O observador meteorológico deve dar atenção ao Tempo Presente (tudo o que é observado no momento dos registos enquanto está na estação, por exemplo a visibilidade) e Tempo Passado (referente a um período de tempo, por exemplo a evaporação).



Não há um ficheiro disponível de dados na Universidade de Aveiro. Normalmente quem deseja estudar fenómenos físicos, tem o "trabalho" de introduzir os dados diários e mensais, *quando disponíveis*, em ficheiro. É uma tarefa muito demorada.

11/11/99  
11.4  
52.5  
11.4  
52.5  
11.4  
52.5

INSTITUTO DE METEOROLOGIA

REGISTO DE OBSERVAÇÕES HORÁRIAS DE SUPERFÍCIE

11/11/99  
11.4  
52.5  
11.4  
52.5  
11.4  
52.5

Data	Hora	Temperatura do ar	Umidade	Velocidade do vento	Direção do vento	Pressão atmosférica	Visibilidade	Estado do céu	Precipitação	Outras observações	Observações
dia	mês	°C	°F	km/h	mph	hPa	mmHg	km	mi	mm	mm
1	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
2	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
3	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
4	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
5	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
6	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
7	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
8	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
9	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
10	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
11	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
12	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
13	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
14	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
15	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
16	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
17	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
18	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
19	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
20	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
21	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
22	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
23	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
24	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
25	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
26	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
27	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
28	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
29	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
30	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5
31	11	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5	11.4	52.5

Figura 3.19 - Folha de registo mensal

Muito recentemente começaram a ser disponibilizados alguns dados. A Figura 3.20 mostra o aspecto de uma folha de cálculo Excel, após a introdução de dados.



pág. 78/174



#### **4. Actividades experimentais desenvolvidas**





#### 4.1. Introdução

Neste Capítulo considerámos relevante abordar os diferentes estudos realizados e actividades que podem ser desenvolvidas com os alunos.

A ideia do estudo da Atmosfera proporciona aos alunos a capacidade de “olhar” o mundo que os rodeia de uma maneira um pouco diferente, permitindo a compreensão de acontecimentos do dia a dia, como por exemplo como se processa a previsão do estado do tempo (através da observação de várias variáveis: temperatura, pressão, vapor de água, gradientes verticais e horizontais e interacções de cada variável) e combatendo a iliteracia científica, aproveitando todas as vantagens que o próprio objecto de estudo nos dá, o facto de ser o maior “laboratório” disponível, o mais acessível e um dos que apresenta maior quantidade de fenómenos susceptíveis de serem estudados e analisados. É um laboratório gratuito a todos. *Por que não usá-lo?*

Actualmente, é cada vez mais partilhada a ideia de que a formação científica dos cidadãos em sociedades de cariz científico/tecnológico deve incluir três componentes: a Educação em Ciência, a Educação sobre Ciência e a Educação pela Ciência.

As orientações curriculares visam o desenvolvimento de competências em diferentes domínios e exigem o envolvimento do aluno no processo ensino/aprendizagem, o que lhe é proporcionado pela vivência de experiências educativas diferenciadas.

Lamentamos não ter sido possível partilhar, durante a realização desta dissertação, as actividades experimentais vivenciadas com o envolvimento de alunos. A investigadora e professora não esteve, este ano lectivo, afecta ao ensino formal, pelo que a avaliação e o impacto das actividades

experimentais não foram consideradas em contexto de ensino. No entanto, a experiência vivida pela investigadora e professora pode transbordar, para além deste documento, para todos os profissionais de ensino que desejam "alargar" os seus conhecimentos para além da sala de aula.

Partilhamos da opinião que a aplicabilidade de fenómenos relacionados com a Atmosfera, quer a nível de ensino quer a nível científico, fomentam a vontade de se querer saber mais, a procura de respostas cientificamente correctas para justificar de uma maneira simples a ocorrência de tais fenómenos, a possibilidade de sugerir estratégias de ensino que motivem os alunos para além do contexto de sala de aula, através de *actividades exteriores à sala de aula*.

Somos de opinião que contextos reais poderão despertar e fomentar abruptamente o interesse nos alunos levando-os à compreensão de fenómenos que ocorrem no seu dia-a-dia e que podem envolver diversas áreas do conhecimento.

Conforme já referido, neste Capítulo serão apresentadas algumas experiências simples, algumas realizadas como trabalho de campo.

#### **4.2. Processo da evaporação numa actividade simples - ciclo de água**

Esta actividade experimental surge para responder, por exemplo, às questões problema:

- .Como se pode explicar de uma maneira simples o ciclo hidrológico?*
- .Que factores o condicionam?*
- .Como se altera o ar húmido?*
- .Como se forma uma nuvem e/ou nevoeiro?*

Usamos uma maquete com materiais de fácil acesso e de baixo custo. A Figura 4.1 mostra a maquete com diferente equipamento. A caixa é

construída com placas de acrílico. Por ser transparente permite acompanhar todo o processo que se desenvolve no interior da caixa. A abertura está localizada na tampa superior onde estão os suportes para a fonte de energia e, onde está instalado um tubo em aço inox em forma de "V". Uma abertura, é também considerada para "passar" um tubo plástico, que activa a circulação da camada de ar adjacente à superfície livre de água contida na tina evaporimétrica.

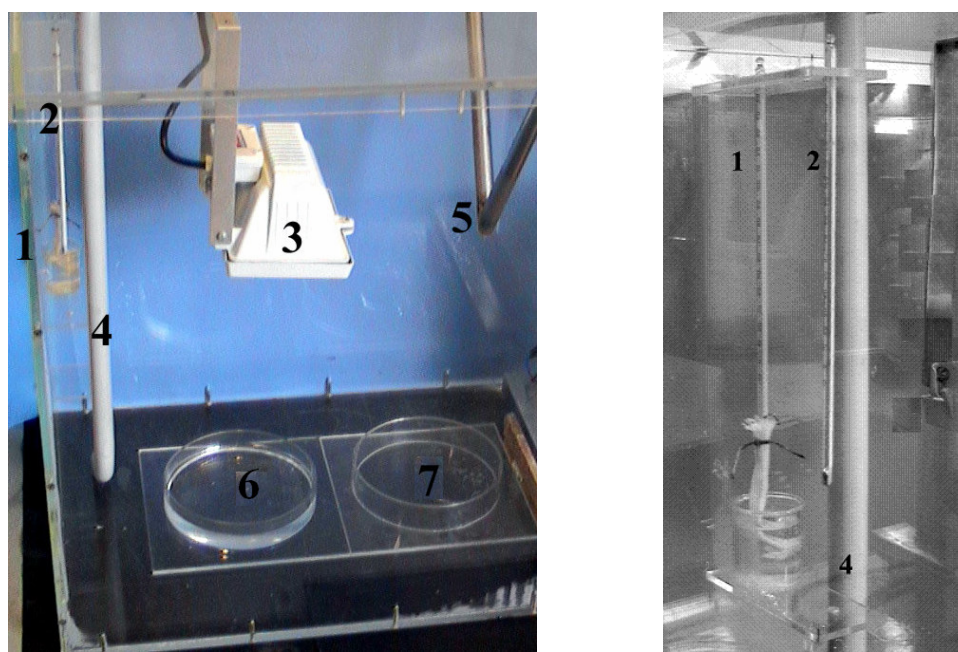


Figura 4.1 - Maqueta didáctica para o estudo do ciclo hidrológico e um pormenor

Assim, a Figura 4.1 mostra a caixa em acrílico onde está instalado um termómetro de bolbo seco (2) e um termómetro de bolbo húmido (1). Como já referido anteriormente, o termómetro de bolbo húmido é igual ao termómetro de bolbo seco; a diferença está na cobertura do bolbo; o termómetro molhado tem o bolbo ligado a um corpo de água destilada com auxílio de uma "gaze" de algodão ou musseline. Os registos das duas temperaturas permitem avaliar a "performance" do ar húmido,

nomeadamente a humidade relativa do ar. Esta variável meteorológica é de extrema importância para a formação da nuvem no interior da "caixa" transparente. Na figura, também é observado um tubo de plástico (4) que conduz o ar proveniente de um secador de cabelo (a sua base ou saída de ar está orientado para a interface ar/água da tina evaporimétrica).

A Figura 4.1 mostra ainda a fonte de energia constituída por um projector de alta potência (3), uma tina evaporimétrica com água (6), uma tina evaporimétrica sem água (7) e o sistema em "V" de aço inox de arrefecimento (5).

Na Figura 4.2 mostra-se um pormenor da interface água/ar húmido. A "oscilação" observada na superfície livre de água mostra o efeito da corrente de ar. Esta contribui para uma evaporação activa da água. Na prática, o que se pretende é que durante a aula sejam criadas condições de modo a se ter um ar húmido (ar seco mais vapor de água) que à temperatura experimental tenha uma pressão parcial de vapor de água próxima da saturação, ou seja que a temperatura do termómetro seco seja próxima da temperatura do ponto de orvalho (uma humidade relativa próxima de 100%).

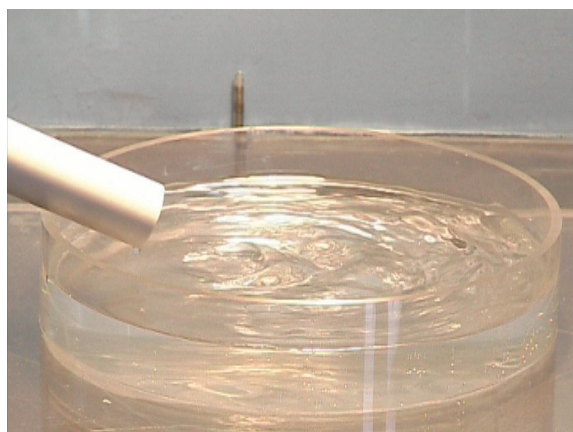


Figura 4.2 - Evaporação activa por forçamento de uma corrente de ar

No início da experiência é conhecida a humidade relativa do ar e portanto a diferença que existe entre a temperatura do ar e a temperatura do termómetro molhado. Quanto maior for a diferença entre as temperaturas, mais longe da saturação está a "parcela de ar" contida na caixa de acrílico. À medida que a água contida na tina evaporimétrica "passa" do estado líquido para o gasoso, mais saturado se torna o "pacote de ar" à temperatura do ar, aquando do início da experiência. É verdade que durante este processo a tampa da caixa está colocada e a fonte de energia está ligada.

A nossa investigação permitiu concluir que é mais fácil obter excelentes resultados durante o Inverno, pois nesta altura do ano a temperatura do ar é mais baixa e a humidade relativa é mais alta. Se o ar registar uma humidade relativa baixa a duração da experiência é longa, pois será necessário muito mais tempo até a "parcela de ar", confinada na caixa, ficar próxima da saturação. Durante o Inverno, a experiência pode ser conduzida durante uma aula de 90 minutos, pois o resultado pode ser obtido a meio da aula.

Quando se regista uma humidade relativa do ar próxima de 100%, desligam-se a fonte de energia e secador de cabelo. Agora, inicia-se a preparação de água com gelo moído (permite uma passagem, mais fácil, através do tubo em inox em forma de "V"). A Figura 4.3 mostra pormenores da preparação de gelo moído com água.

O processo da introdução do gelo moído e da água no tubo em inox, em forma de "V", deve ser muito rápido, pois o que se procura é um choque térmico. Ter o tubo em forma de "V" permite analisar e observar o que se passará no vértice do tubo que está afastado das paredes da caixa.





Figura 4.3 - Preparação de gelo moído com água

No instante em que a água e gelo moído passam através do tubo, observa-se a formação de uma nuvem (bem visível) e a seguir correntes de convecção ascendentes e descendentes (por se terem criado diferentes massas volúmicas do ar contido na caixa).

De uma maneira simples, fisicamente falando, o que aconteceu foi um arrefecimento "abrupto" do vapor de água contido no ar húmido ("parcela de ar") junto ao vértice do tubo e a consequente formação de nevoeiro seguida de formação de gotas de água que caem, agora, na tina evaporimétrica (7), por estar debaixo do vértice do tubo.

A Figura 4.4 mostra o vapor de água a condensar na parede do tubo e a queda de uma gota de água na tina evaporimétrica (7).

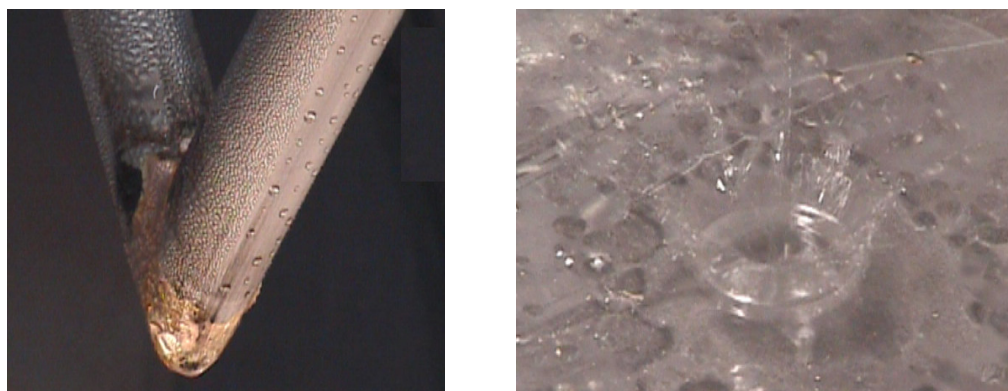


Figura 4.4 - Condensação de vapor de água e queda de uma gota de água

No final da experiência, quando se regista uma temperatura do ar igual à temperatura do ar quando se tinha iniciado a experiência, algumas conclusões interessantes podem ser tiradas:

- A temperatura do termómetro molhado é inferior, o que indica maior poder secante da "parcela de ar". Os valores das duas temperaturas permitem conhecer a humidade relativa do ar (agora, inferior que a inicial);

- Se a "parcela de ar" apresenta uma humidade relativa inferior é porque perdeu vapor de água condensado através da queda de gotas de água. Esta situação é verdadeira pois a tina evaporimétrica que estava sem água passou a registar a presença de água.

- Observou-se que a diferença de nível da água evaporada na tina evaporimétrica (6) passou, através do ciclo hidrológico, para a tina evaporimétrica (7). Esta situação, mostra de uma maneira muito simples como a água é "transportada" na atmosfera. Nestes termos, pensamos que é mais fácil ao professor explicar fenómenos "extremos" da atmosfera, nomeadamente secas e inundações, condicionados pelas correntes do ar (Mário Talaia e Ana Coelho, 2006).

Para visionamento futuro criou-se um primeiro vídeo didáctico com todas as fases da experiência e foram contextualizados com os fenómenos físicos numa dinâmica CTS (Mário Talaia e Ana Augusto, 2007a; Mário Talaia e Ana Augusto, 2008).

No futuro esperamos melhorar o vídeo recorrendo a dois feixes laser direccionados para a zona onde se espera a formação da nuvem. Pensamos que a observação visual melhorará substancialmente.

Numa Oficina Pedagógica, que será apresentada no Capítulo 5, falamos com alguns colegas acerca deste instrumento pedagógico. De maneira

unânime foi elogiado e foram pedidas cópias para ajudar na leccionação da temática mudança global.

### **4.3. Balanço energético - uma tina evaporimétrica**

Esta actividade experimental surge para responder, por exemplo, às seguintes questões problema:

- *Que factores condicionam a evaporação de uma superfície livre de água?*
- *Em que "altura" do ano se regista uma maior evaporação de água?*
- *Que energia por unidade de área é necessária para se registar a evaporação registada anualmente?*

Como é sabido, a água é a substância mais comum à superfície da Terra e é base de toda a vida. A água existente no planeta encontra-se em permanente circulação.

Uma questão central pode ser colocada:

*"Será que a partir de dados meteorológicos registados numa estação meteorológica, é possível estimar a evaporação de uma superfície livre de água?"*

Um dos processos mais usados para estimar a evaporação é a partir da utilização de tinas evaporimétricas constituídas por reservatórios de água, expostos a céu aberto ou seja às condições atmosféricas.

A radiação solar é o factor mais importante para o ciclo hidrológico, pois é a fonte de energia que origina e mantém o ciclo. A radiação solar tem a responsabilidade de permitir que as moléculas de água possam adquirir suficiente energia cinética para vencer a tensão superficial e libertarem-se da superfície do líquido. A passagem das moléculas de água, da vizinhança da superfície de água para a atmosfera, é controlada pela diferença de tensão

de vapor (pressão exercida pelo vapor em determinado volume) entre a camada da superfície de água e a atmosfera. Adicionalmente, o vento pode deslocar a camada adjacente de ar saturado favorecendo a evaporação da linha de água.

A literatura da especialidade mostra que existem inúmeros modelos para estimar a evaporação de uma superfície livre (ver por exemplo, Lencastre e Franco, 1992).

O modelo, que vamos desenvolver e adoptar, mede o balanço energético entre vários fluxos energéticos, nomeadamente da radiação solar, da energia armazenada, das trocas de energia entre a água e atmosfera, das trocas de energia entre a água e o solo e da energia gasta na evaporação.

Nestas circunstâncias, a equação geral do balanço energético pode ser escrita da seguinte forma

$$Q_s - Q_{sr} - Q_{lw} - Q_h - Q_e - Q_{ve} = 0 \quad (3.29)$$

em que  $Q_s$  representa a radiação solar incidente ou radiação global,  $Q_{sr}$  a radiação solar reflectida,  $Q_{lw}$  a radiação da massa de água para a atmosfera sob a forma de ondas longas,  $Q_h$  a energia transferida sob a forma de calor da massa de água para a atmosfera por efeitos de turbulência,  $Q_e$  a energia utilizada na evaporação e  $Q_{ve}$  a energia cedida pela massa de água através da água evaporada.

A radiação útil,  $Q_n$ , do ponto de vista de evaporação, é dada por  $Q_s - Q_{sr} - Q_{lw}$ . Nestes termos a expressão (3.29) reduz-se a

$$Q_n - Q_h - Q_e - Q_{ve} = 0 \quad (3.31)$$

A radiação solar incidente ou radiação global  $Q_s$ , resulta da aplicação da expressão (3.32), a radiação solar reflectida  $Q_{sr}$ , da aplicação da expressão (3.33) e a energia perdida para a atmosfera da aplicação da expressão (3.34).

Em alternativa, para a região de estudo pode ser obtida uma expressão que relacione a radiação útil,  $Q_n$ , com a radiação solar incidente ou radiação global,  $Q_s$ . Uma expressão empírica foi avaliada para a região de Aveiro.

Na Figura 4.5 estão indicados os dados registados durante o ano 1991. Foi arbitrária a escolha do ano de 1991, podia ter sido escolhido outro ano. No entanto, a decisão recaiu sobre este ano basicamente por ser um ficheiro que tinha disponível todas as variáveis que são necessárias para a utilização do modelo do balanço energético. A linha de tendência indica a relação entre as duas variáveis, radiação útil e radiação solar incidente, dada por

$$Q_n = Q_s - 119 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1} \quad (4.01)$$

A expressão (4.01), conforme se mostrará mais adiante, permite a correcção da estimativa de evaporação mensal, fornecendo um excelente acordo com os dados da evaporação registados experimentalmente.

A quantidade de energia sob a forma de calor é transferida da massa de água para a atmosfera por efeitos de turbulência,  $Q_h$ , e é dada por

$$Q_h = Q_e \left\{ 0.66 \frac{p}{1000} \frac{(T - T_w)}{e_s(T) - e_s(T_w)} \right\} \quad (4.02)$$

em que  $p$  representa a pressão atmosférica (hPa),  $Q_e$  a quantidade de energia utilizada na evaporação,  $T_w$  a temperatura do termómetro molhado,  $e_s(T_w)$  a pressão parcial de vapor à temperatura  $T_w$ ,  $T$  a temperatura do termómetro seco,  $e_s(T)$  a pressão parcial de vapor à temperatura  $T$ .

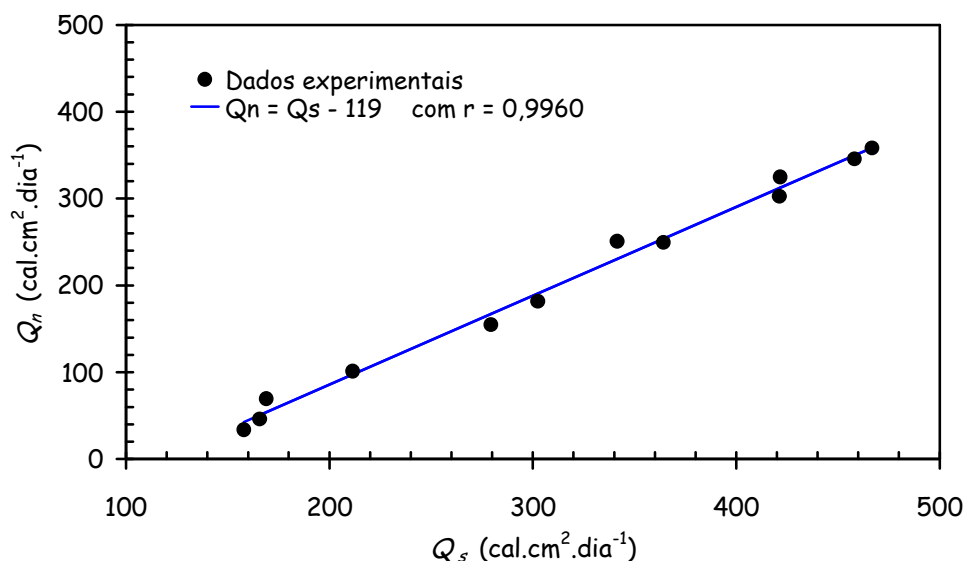


Figura 4.5 - Relação entre  $Q_n$  e  $Q_s$  (região de Aveiro)

Por outro lado, a energia utilizada na evaporação,  $Q_e$ , é calculada a partir do produto entre a massa de água evaporada e o calor de transformação. Assim sendo, a energia utilizada por unidade de superfície é determinada pela expressão

$$Q_e = \rho L E \quad (4.03)$$

em que  $L = 590 \text{ cal.g}^{-1}$  ou  $L \cong 2,5 \times 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$  (valor típico aceite para a atmosfera),  $\rho$  a massa volúmica da água e  $E$  a altura ou espessura de água evaporada no processo.

A energia retirada da tina pela água evaporada,  $Q_{ve}$ , é calculada por

$$Q_{ve} = \frac{Q_e}{L} c(T - T_0) \quad (4.04)$$

em que  $T_0$  é considerada uma temperatura de referência (pode ser escolhida arbitrariamente) e  $c$  a capacidade térmica mássica da água ( $= 1 \text{ cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ).

Finalmente, através de manipulações matemáticas, a evaporação,  $E$ , medida em altura de coluna de água, é determinada através da expressão

$$E = \frac{Q_n}{\rho L \left[ 1 + 0.66 \frac{\rho(T - T_w)}{1000[e_s(T) - e_s(T_w)]} + \frac{c}{L}(T - T_0) \right]} \quad (4.05)$$

A expressão (4.05) é análoga à expressão usada nos manuais de ensino quando apresenta o aspecto dado por

$$Q = mL \quad (4.06)$$

em que  $Q$  representa a quantidade de energia necessária à mudança de estado físico de uma substância e  $m$  a massa de água evaporada.

Uma vez que

$$m = \rho V \quad (4.07)$$

e

$$V = AE \quad (4.08)$$

em que  $A$  representa a superfície livre de evaporação (interface entre a atmosfera e a água), e  $E$  a coluna de água evaporada, resulta em

$$E = \frac{1}{\rho L} \frac{Q}{A} \Leftrightarrow E = \frac{Q'}{\rho L} \quad (4.09)$$

Concluimos assim que as expressões (4.09) e (4.05) são semelhantes. Na expressão (4.09)  $Q'$  representa a quantidade de energia por unidade de área de superfície evaporante.

Os valores registados para o ano 1991 foram tratados e foi determinada a evaporação para cada mês do ano usando o modelo de balanço energético.

A Figura 4.6 mostra a evaporação registada e a evaporação avaliada. A linha superior (de cor "negra") indica os valores registados mensais na Tina Evaporimétrica de "Classe A" e a linha inferior (de cor "azul") indica os valores calculados mensais a partir do balanço energético.

A observação visual da Figura 4.6 mostra ainda, de uma forma inequívoca, que os valores calculados estão subestimados e que a maior diferença está no mês de Maio e Novembro.

Os resultados parecem indiciar um erro sistemático. A análise de dados mostrou que estas diferenças parecem ser da responsabilidade do observador meteorológico. De facto, quando se avaliou os resultados da evaporação mensal para os meses de Maio e Novembro, foi notória uma "contradição" de valores registados, nomeadamente da nebulosidade, insolação e precipitação. Por exemplo, o ficheiro de valores indicava para dias de céu aberto apenas uma hora de Sol, o que não nos parece razoável.



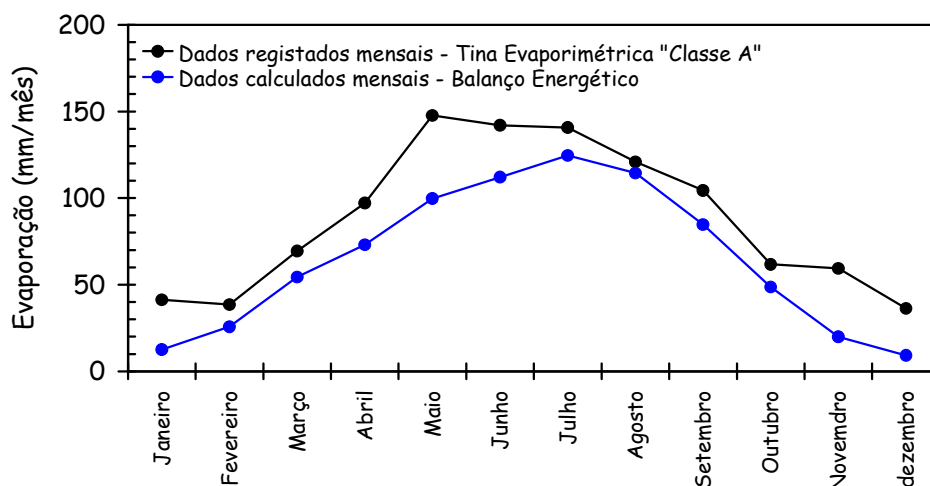


Figura 4.6 - Evaporação calculada e registada ao longo do ano

Na Figura 4.7 mostra-se o ficheiro de dados para o mês de Maio e Novembro. A observação atenta dos valores confirma a discrepância indicada em relação à insolação e nebulosidade.

A Figura 4.8 mostra a relação entre valores medidos e calculados. Interessante é notar que, os valores calculados apresentam um desvio sistemático em relação à recta teórica de declive unitário (caso em que os valores registados e calculados são iguais).

Se a expressão (4.01) for usada, para a região de Aveiro, os resultados são muito encorajadores devido a terem um excelente acordo com os dados registados. Na Figura 4.9 indicam-se os valores a "negro" quando se usa o modelo de balanço energético sem introdução da expressão (4.01) e os valores a "vermelho" quando no modelo de balanço energético se introduz a expressão simplificada (4.01). Estes valores mostram uma tendência muito próxima da linha traçada de declive unitário de "cor verde", com um declive de 0,982 e um coeficiente de correlação de 0,9610.

Microsoft Excel - ANA\_ANO\_1991 feito.xls

A	B	C	D	E	F	G
	Neb tot	Ceu aberto	Dias chuva	Insol. (h)	T ar	T w
01-05-1991	7	0.9		8.5	14.0	12.0
02-05-1991	2	0.3		1.1	13.0	9.5
03-05-1991	1	0.1		11.0	12.5	7.0
04-05-1991	7	0.9		9.6	11.2	8.4
05-05-1991	0	0.0		4.6	13.4	10.0
06-05-1991	0	0.0		4.6	13.0	9.0
07-05-1991	3	0.4		4.6	14.2	9.6
08-05-1991	2	0.3		12.0	13.0	9.6
09-05-1991	0	0.0		12.0	13.0	9.8
10-05-1991	0	0.0		12.0	13.1	9.6
11-05-1991	5	0.6		4.6	14.2	11.6
12-05-1991	0	0.0		12.0	18.2	10.6
13-05-1991	1	0.1		4.6	20.4	14.0
14-05-1991	6	0.8		4.6	15.4	14.2
25-05-1991	0	0.0		12.0	25.0	15.2
26-05-1991	0	0.0		12.0	23.0	17.6
27-05-1991	1	0.1		4.6	27.0	18.6
03-11-1991	8	1.0		0.0	16.2	14.8
04-11-1991				1.9	14.0	11.6
05-11-1991	7	0.9		4.1	11.8	10.2
06-11-1991				8.2	9.0	7.4
07-11-1991	0	0.0		8.4	9.0	7.0
08-11-1991	2	0.3		7.8	8.7	7.3
24-11-1991	8	1.0		0.0	12.2	10.0
25-11-1991					15.0	13.0
26-11-1991	8	1.0		2.4	14.0	12.0
27-11-1991	7	0.9		3.0	12.5	9.0
28-11-1991	2	0.3		6.6	9.0	7.0
29-11-1991	3	0.4		5.7	10.0	8.0
30-11-1991	8	1.0		0.0	12.6	10.8

Gráfico 1991 / T\_BE / FIG REAL / Qn\_Qs / 1991 TODA / 1991 / Ja

Figura 4.7 - Ficheiro de dados de Maio e de Novembro de 1991

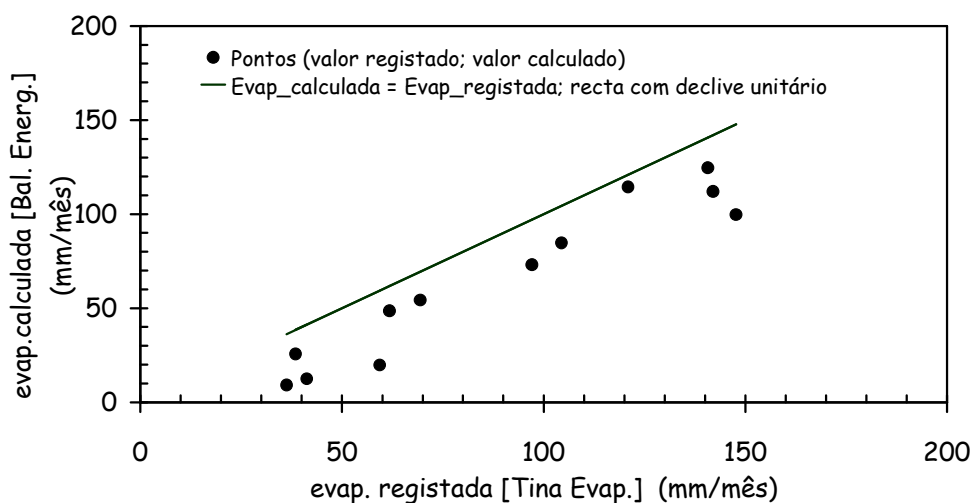


Figura 4.8 - Relação entre a evaporação registada e calculada

Na Figura 4.10 são indicados os três valores [registados, calculados e por introdução da expressão (4.01)] num gráfico de barras. Agora, é

possível observar a diferença que existe entre a altura das colunas de valores calculados em face dos valores registados.

A análise de resultados indicia que a introdução da expressão (4.01) no modelo do Balanço Energético dá bons resultados.

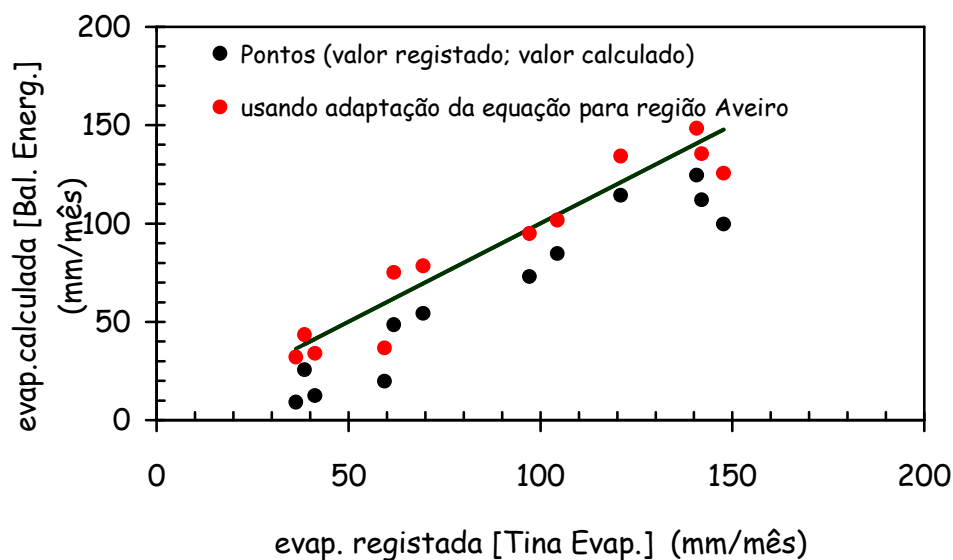


Figura 4.9 - Evaporação registada, calculada e corrigida

A Figura 4.11 indica a diferença entre as colunas de valores. A observação visual mostra, como já referimos anteriormente, um desvio sistemático quando se usa o modelo de Balanço Energético, ou seja os valores calculados são inferiores aos registados em todos os meses do ano. Os valores calculados quando se introduz a expressão (4.01) mostram um melhor acordo com os valores experimentais (Mário Talaia e Ana Coelho, 2007b).

A título informativo, para o ano 1990, apresenta-se na Figura 4.12 o gráfico obtido para a evaporação e na Figura 4.13 uma análise referente aos desvios entre os valores calculados [com e sem o uso da expressão (4.01)].

Deve salientar-se que as conclusões referentes à análise dos anos 1990 e 1991 são análogas, como seria esperado.

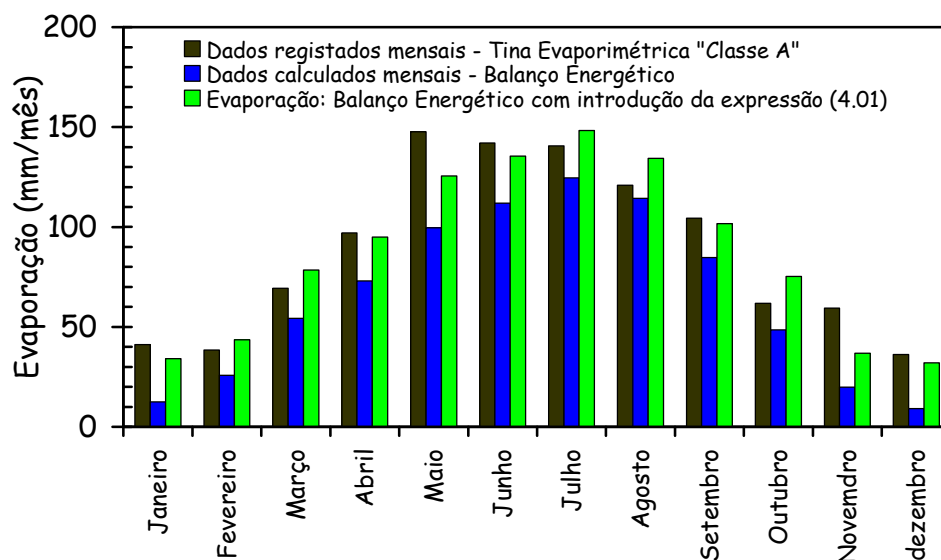


Figura 4.10 - Evaporação registada, calculada e corrigida (gráfico de barras)

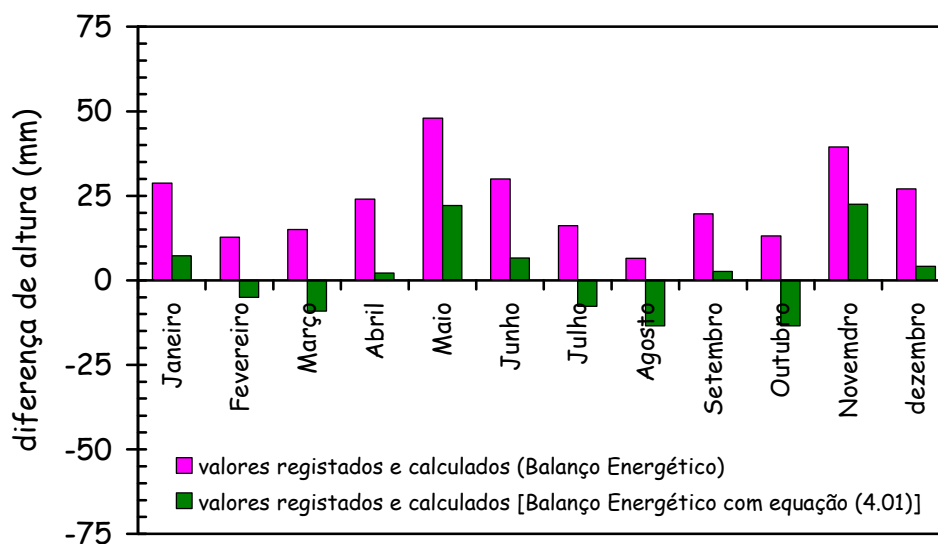


Figura 4.11 - Diferença de valores: calculados e registados

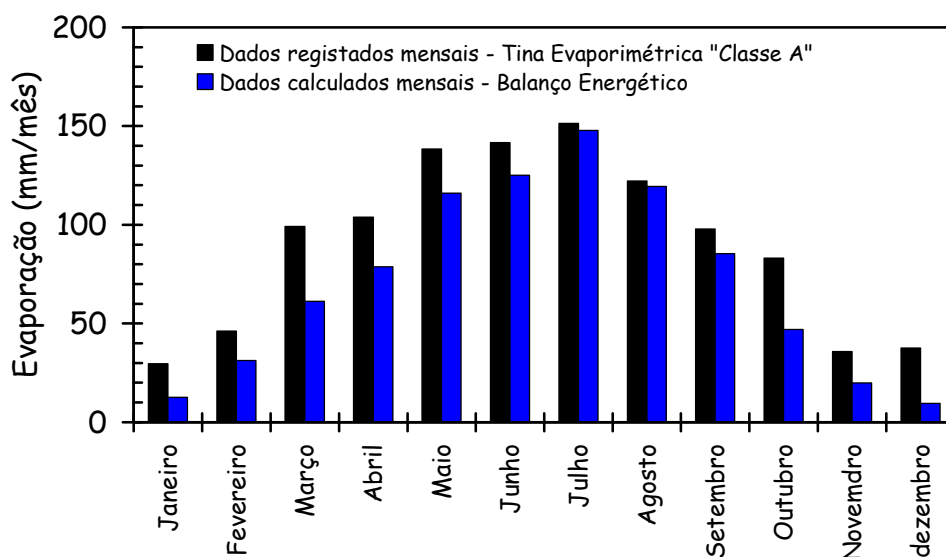


Figura 4.12 - Evaporação registada, calculada - ano 1990

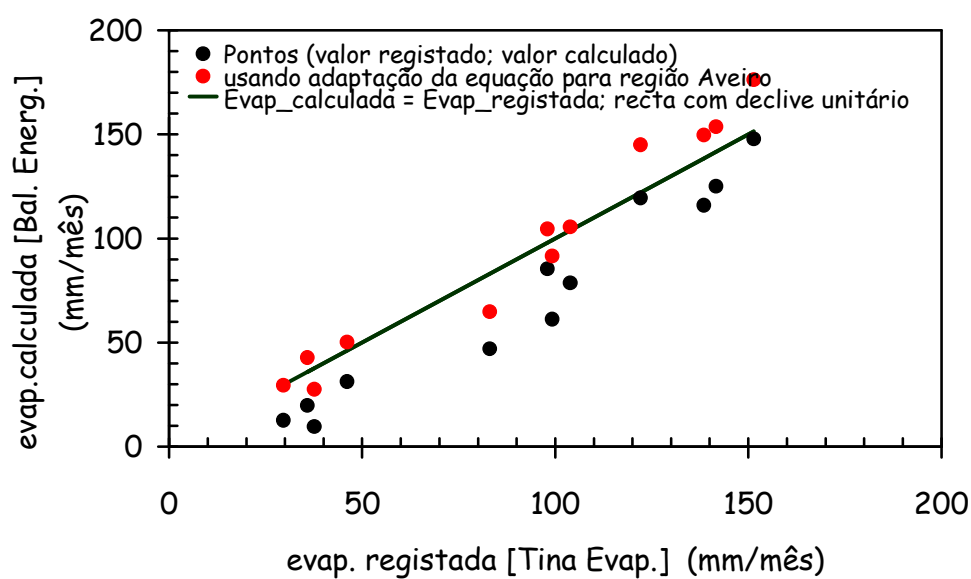


Figura 4.13 - Evaporação (registada, calculada e corrigida) para 1990

Resumindo, os pares de valores dos dados determinados através do modelo do Balanço Energético quando se usa a equação para Aveiro e dos

dados registados, sugerem um melhor ajuste à recta teórica com declive unitário, o que indicia a importância da introdução da expressão (4.01) no modelo do Balanço Energético.

Um trabalho de campo deste tipo permite uma familiarização com instrumentos de medida usados para registar factores meteorológicos. Também, mostra como os parâmetros meteorológicos estão relacionados. Estes são alguns dos objectivos da unidade temática "Mudança Global", leccionada no Ensino Básico, no 8º ano de escolaridade.

O modelo usado para estimar a evaporação de uma superfície livre de água contida numa tina evaporimétrica permitiu uma estratégia de Ensino Por Pesquisa (EPP). Este método condiciona alguns dos aspectos que são estudados no tema da Unidade 1 da Física do 10º ano, cujas sub unidades são: Energia - do Sol para a Terra: A energia no aquecimento/arrefecimento de sistemas...

Uma estratégia deste tipo estimula o interesse, a curiosidade e o apreço pelo estudo dos fenómenos naturais e pela interpretação dos dados experimentais observados, familiariza os alunos com métodos, processos de trabalho e formas de pensar, proporciona a aquisição de conhecimentos que ajude os estudantes a serem capazes de compreender problemas científicos e tecnológicos (dinâmica CTS-A), contribui para a reflexão sobre a importância de saberem discutir e interpretar dados observados e registados criteriosamente e favorece uma cultura meteorológica.

Mostra ainda que a expressão indicada nos manuais escolares é "reduzida" pois não leva os alunos a contextualizar todo o processo físico envolvido na mudança de fase e a avaliar correctamente a espessura da coluna de água evaporada. As questões problema surgem normalmente com um carácter de exercício e não com um carácter de problema.

Concluímos que a evaporação da coluna de água de uma tina evaporimétrica, para a região de Aveiro, pode ser avaliada, com bom resultado, através do modelo do balanço energético com a adaptação de uma expressão empírica que relaciona a radiação útil a partir da radiação solar incidente.

#### **4.4. Radiossondagem**

A Atmosfera é um dos mais valiosos laboratórios para ser usado no ensino/aprendizagem. Conforme já referido anteriormente, os alunos do 8º e 10º ano de escolaridade, em Portugal, podem ser ensinados pelos profissionais do ensino, se as temáticas "Mudança Global" e "Energia - do Sol para a Terra: A energia no aquecimento/arrefecimento de sistemas..." forem contextualizadas numa dinâmica Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

Esta actividade experimental mostra que se pode interpretar fisicamente a estrutura vertical da Atmosfera através de parâmetros meteorológicos registados por sensores de uma sonda ligada a balão meteorológico; como se avalia a base de uma nuvem a partir de um processo adiabático; como se forma o orvalho à superfície da Terra através de um arrefecimento isobárico e a formação de neblina e de nevoeiro que condicionam a transparência da Atmosfera.

As radiossondagens permitem conhecer a estrutura vertical da atmosfera, e constituem a principal fonte de informação de dados meteorológicos atmosféricos. Uma radiossonda é um instrumento que transmite automaticamente a um operador localizado em Terra os dados recolhidos pelos elementos de um equipamento meteorológico transportado por um balão - sonda, ao longo da sua ascensão.

O estudo da estrutura vertical da atmosfera através de dados registados por radiossondagem, em termos de Ensino das Ciências, apresenta uma forte componente CTS-A (Ciência - Tecnologia - Sociedade - Ambiente), uma vez que os alunos poderão verificar a forte ligação existente entre a Física (relação entre os parâmetros meteorológicos em altitude), os meios tecnológicos (computador, antena de rádio, ADAS - Sistema de Aquisição de Dados Atmosféricos, sonda e teodolito), a Sociedade [agricultura, pesca ..., ou mesmo na prevenção de desastres meteorológicos (ciclones, furacões, cheias, etc.)] e o Ambiente [também são usados balões cativos com diferentes sondas (meteorológicas e de poluentes) localizadas a diferentes níveis].

Tivemos o privilégio de dispor de um conjunto de radiossondagens efectuadas em Lisboa, durante o ano de 2000.

Numa primeira fase consideramos importante investigar como se comporta a estrutura vertical da atmosfera de 15 em 15 dias. Esta hipótese pareceu-nos razoável pois espera-se encontrar uma dinâmica de mudança dos parâmetros meteorológicos, em altitude, medidos ao longo do ano.

A primeira dificuldade encontrada nos ficheiros das radiossondagens foi filtrar os dados sem significado físico (valores anormais) e dados contaminados com letras, como se indica na célula de cor "amarela" na Figura 4.14. Esta figura mostra as colunas que estão associadas às escolhas de recepção (parâmetros meteorológicos) para a sonda; altitude (m), pressão (hPa), temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa do ar (%), temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ), rumo do vento ( $^{\circ}$ ) e intensidade do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ).

Os valores da radiossondagem indicada na Figura 4.14 são referentes ao dia 29 de Fevereiro de 2000 e realizada às 12 horas.



A partir dos dados obtidos, estudou-se a estrutura vertical da atmosfera. A nossa atenção será uma altitude até cerca de 10000 m ou seja para valores da Troposfera (a camada adjacente à superfície terrestre). Esta temática pode ser introduzida no Ensino Básico e Secundário (8º ano e no 10º ou 11º ano de escolaridade).

Microsoft Excel - exemplo00022912.xls									
Ficheiro Editar Ver Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela									
L1									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	tempo	Altitude	Pressão	Tar	U	Torva	RumoV	IntenV	
2	h	min	m	hPa	°C	%	°C	°	m/s
3	0	0	104	1017,7	14,1	62	6,9	360	3,4 TUDV
4	0	2	118	1016,0	13,5	54	4,4	1	3,7
5	0	4	127	1015,0	13,2	55	4,4	2	3,8
6	0	6	137	1013,7	13,0	55	4,2	2	3,9
7	0	8	149	1012,2	12,9	55	4,1	2	3,9
8	0	10	159	1011,0	12,8	56	4,3	3	4,0
9	0	12	168	1010,0	12,6	56	4,1	3	4,1
10	0	14	176	1009,0	12,5	57	4,2	4	4,2
11	0	16	180	1008,5	12,4	57	4,1	4	4,3
12	0	18	186	1007,8	12,3	57	4,0	4	4,4
13	0	20	194	1006,8	12,2	58	4,2	5	4,5
14	0	22	202	1005,8	12,2	58	4,2	5	4,6
15	0	24	209	1005,1	12,2	58	4,2	5	4,7
16	0	26	217	1004,1	12,1	59	4,3	6	4,7
17	0	28	225	1003,1	12,0	59	4,3	6	4,8
18	0	30	233	1002,2	11,9	59	4,2	6	4,9
19	0	32	245	1000,7	11,8	60	4,3	7	5,0
20	0	34	258	999,2	11,6	60	4,1	7	5,1
21	0	36	272	997,5	11,5	61	4,3	7	5,1
22	0	38	288	995,6	11,4	61	4,2	7	5,2
23	0	40	303	993,9	11,3	61	4,1	8	5,3
24	0	42	317	992,2	11,1	62	4,1	8	5,3
25	0	44	331	990,5	11,0	63	4,2	8	5,4

Figura 4.14 - Tabela de valores de uma radiossondagem

Numa segunda fase analisamos o comportamento da estrutura vertical da atmosfera para os dias seleccionados. Foram elaborados diversos gráficos, nomeadamente de temperatura do ar, razão de mistura, humidade relativa do ar e pressão em função da altitude, para que através de uma observação visual fossem seleccionados dois dias com grandes diferenças (esperávamos obter um dia de Inverno e um dia de Verão). As Figuras 4. 15 à 4.62 mostram como se comportaram em altitude os parâmetros meteorológicos seleccionados.

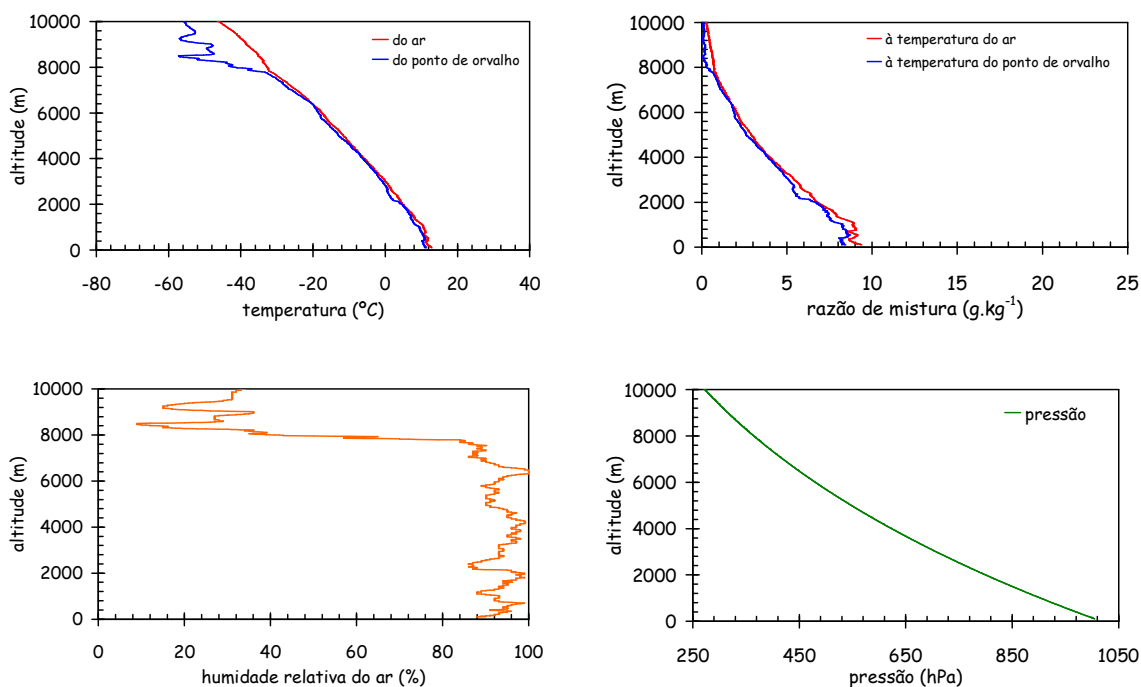


Figura 4.15 - Radiossondagem realizada no dia 5 de Janeiro de 2000 às 0 horas

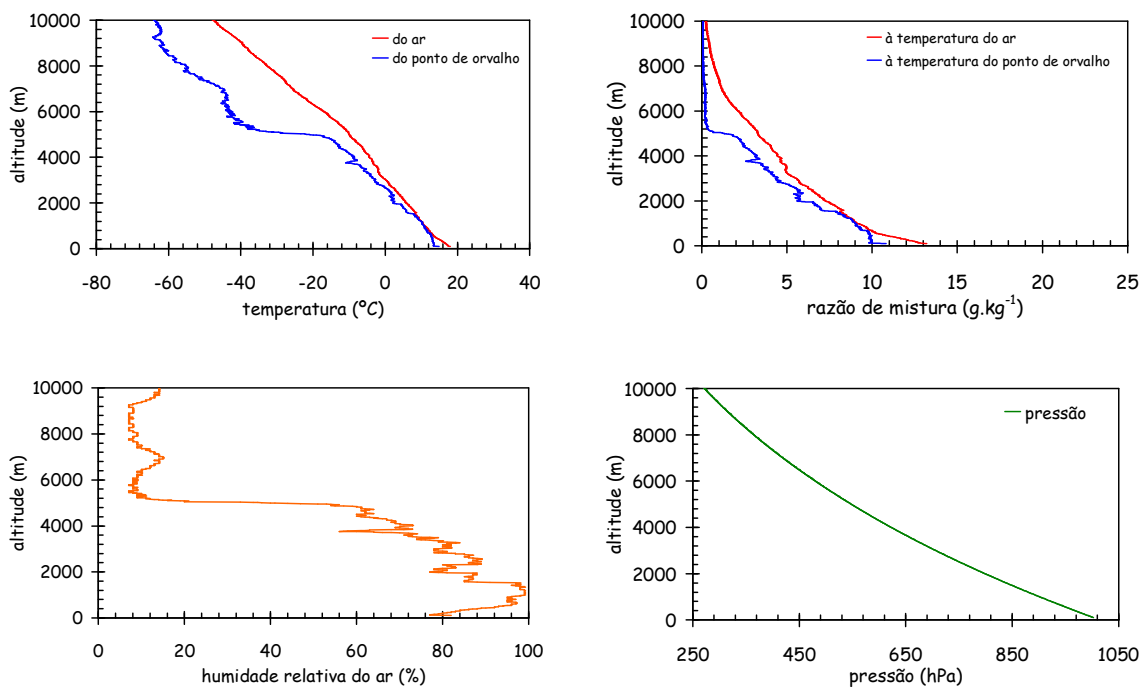


Figura 4.16 - Radiossondagem realizada no dia 5 de Janeiro de 2000 às 12 horas

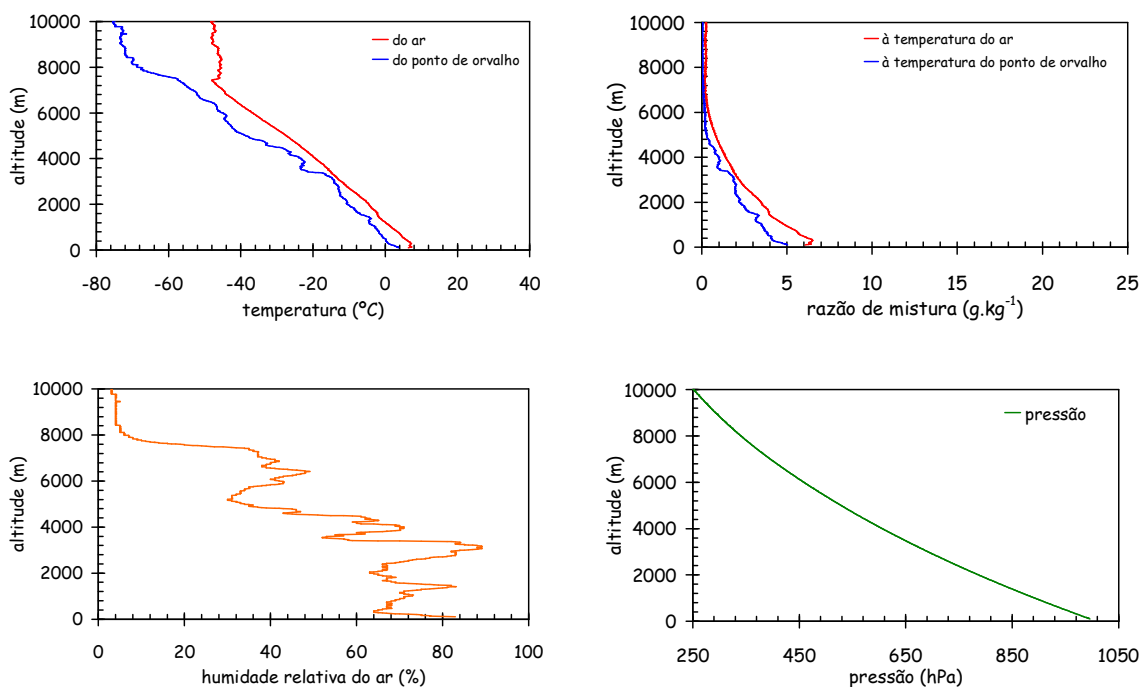


Figura 4.17 - Radiosondagem realizada no dia 15 de Janeiro de 2000 às 0 horas

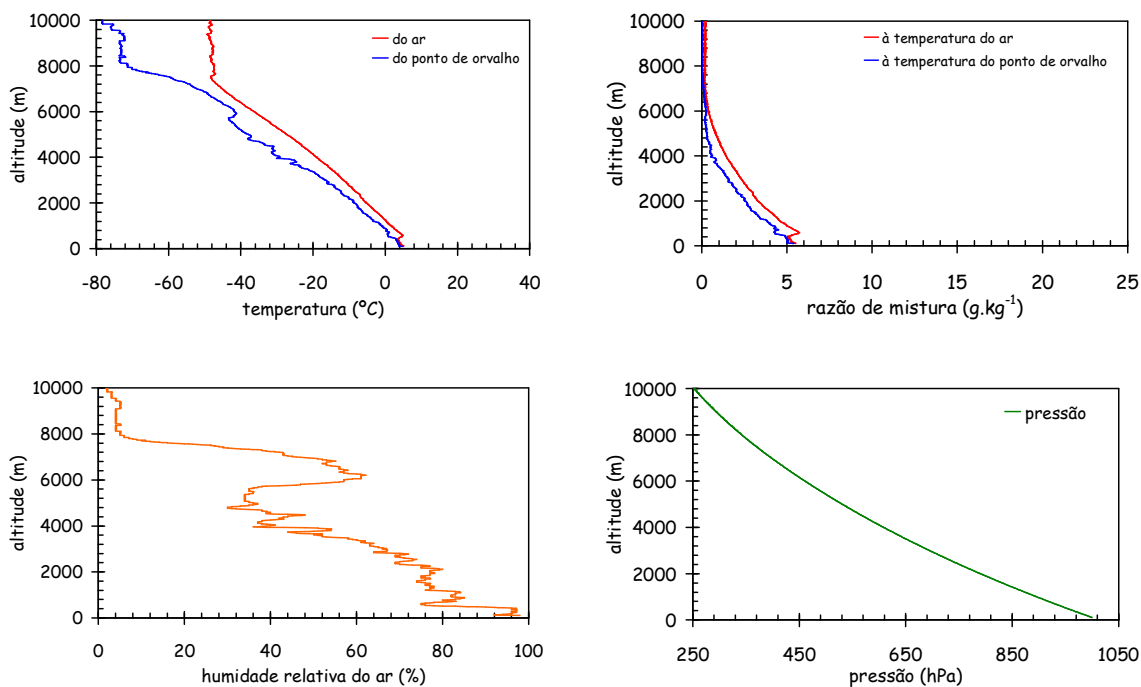


Figura 4.18 - Radiosondagem realizada no dia 15 de Janeiro de 2000 às 12 horas

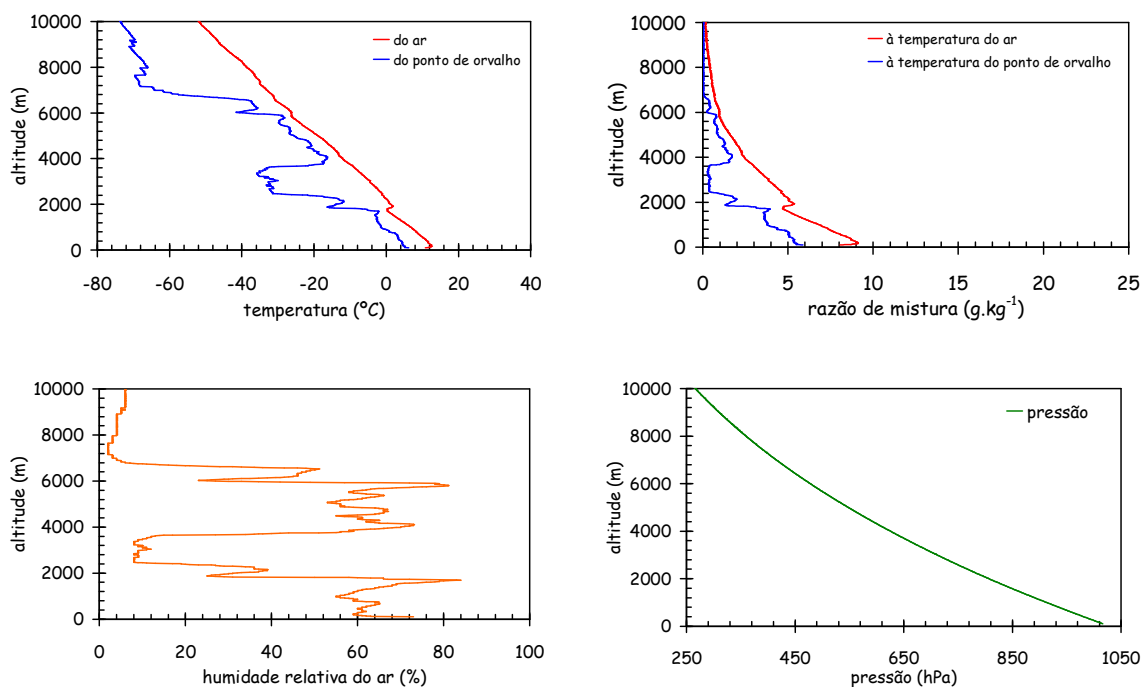


Figura 4.19 - Radiosondagem realizada no dia 29 de Janeiro de 2000 às 0 horas

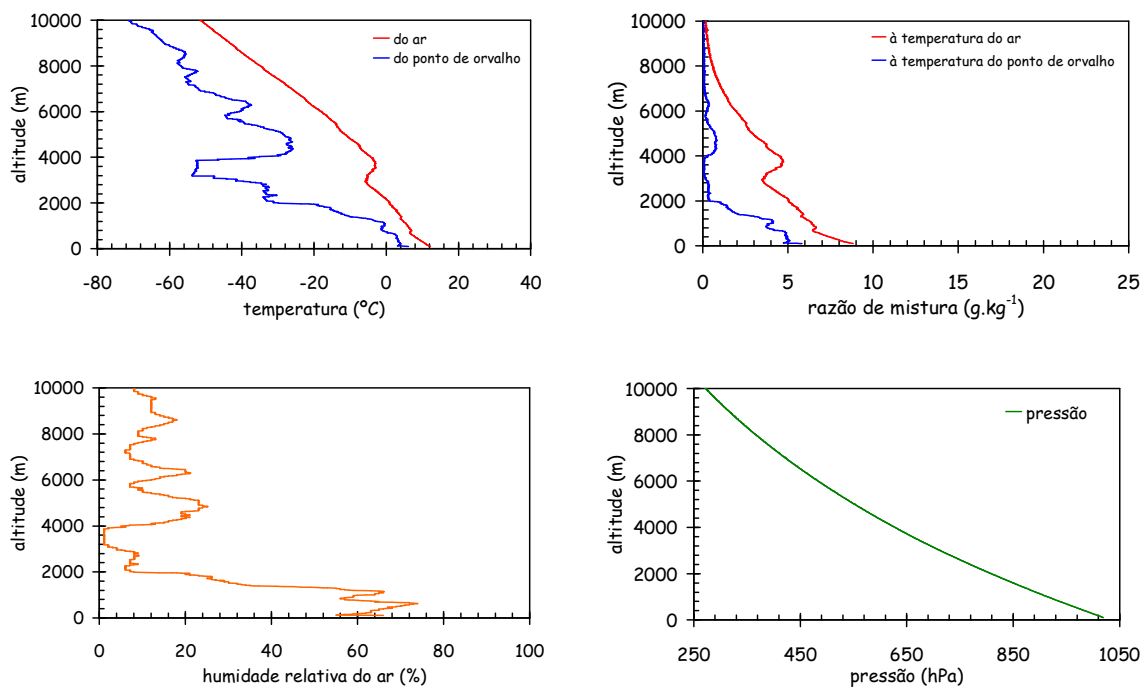


Figura 4.20 - Radiosondagem realizada no dia 29 de Janeiro de 2000 às 12 horas

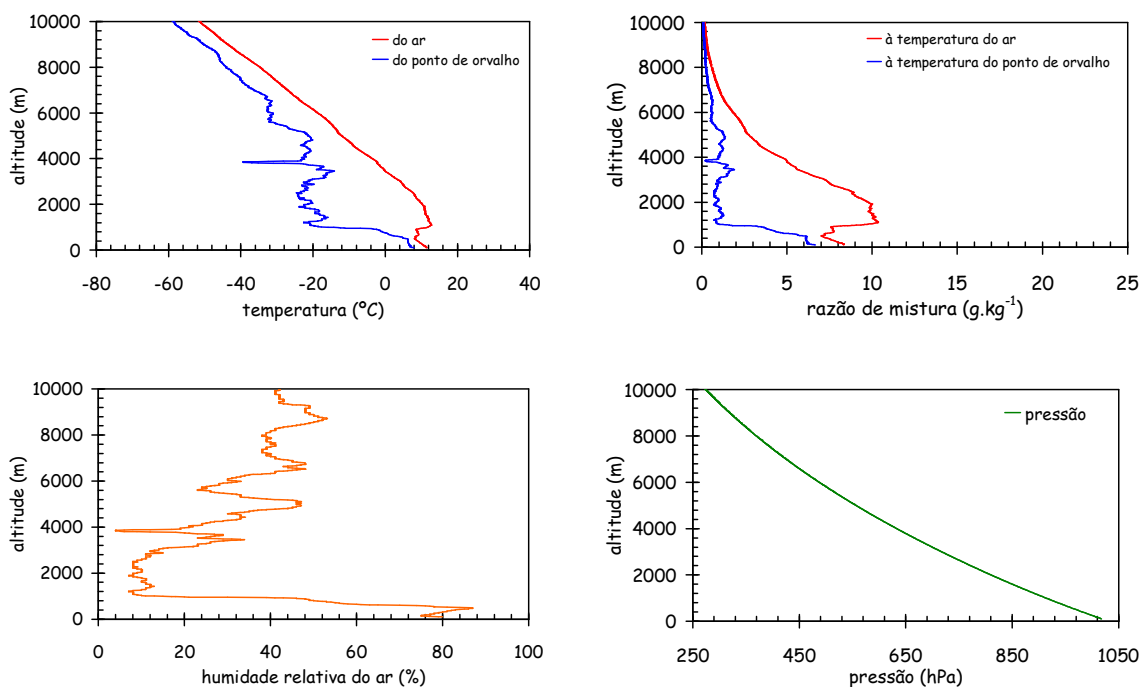


Figura 4.21 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Fevereiro de 2000 às 0 horas

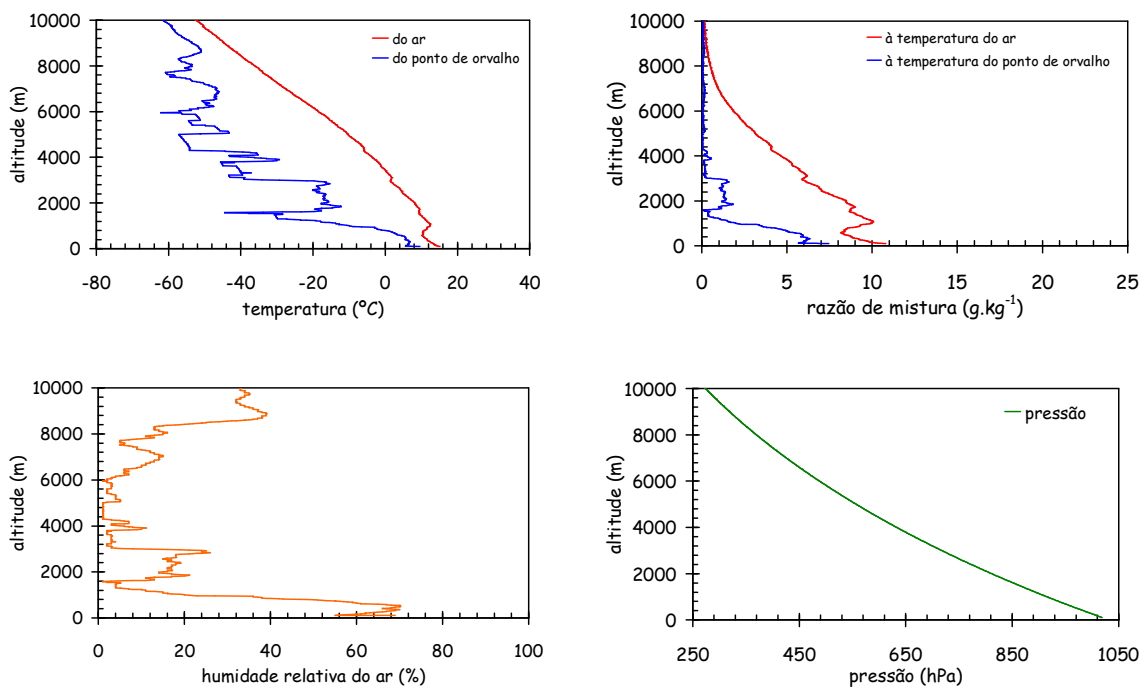


Figura 4. 22 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Fevereiro de 2000 às 12 horas

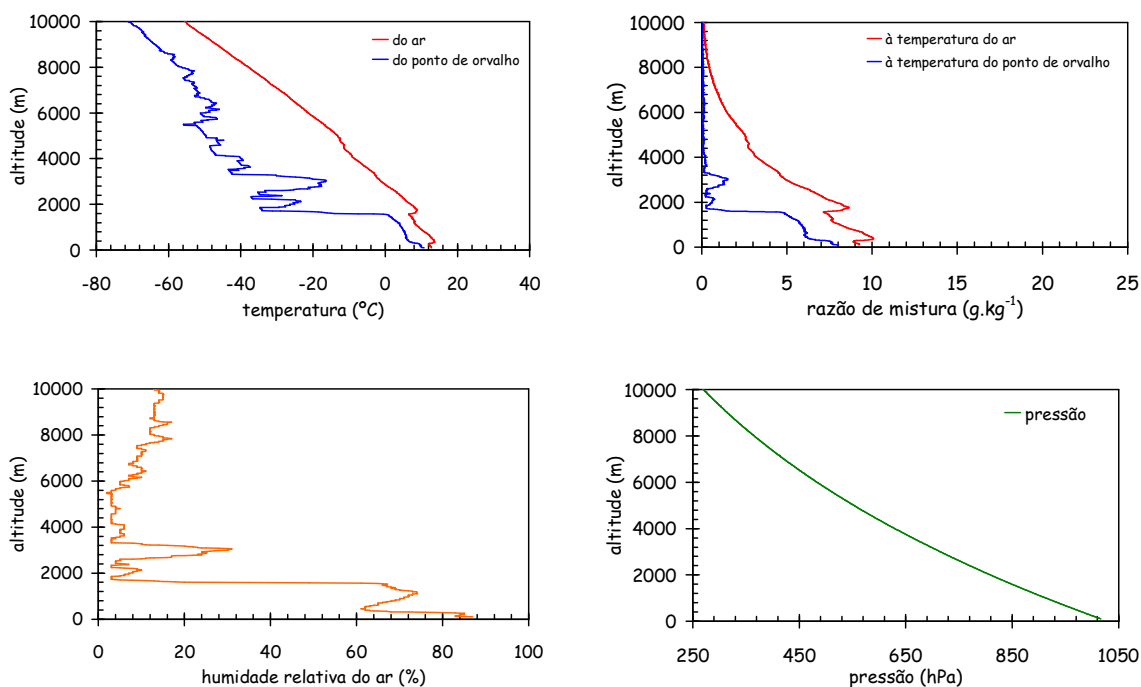


Figura 4.23 - Radiossondagem realizada no dia 29 de Fevereiro de 2000 às 0 horas

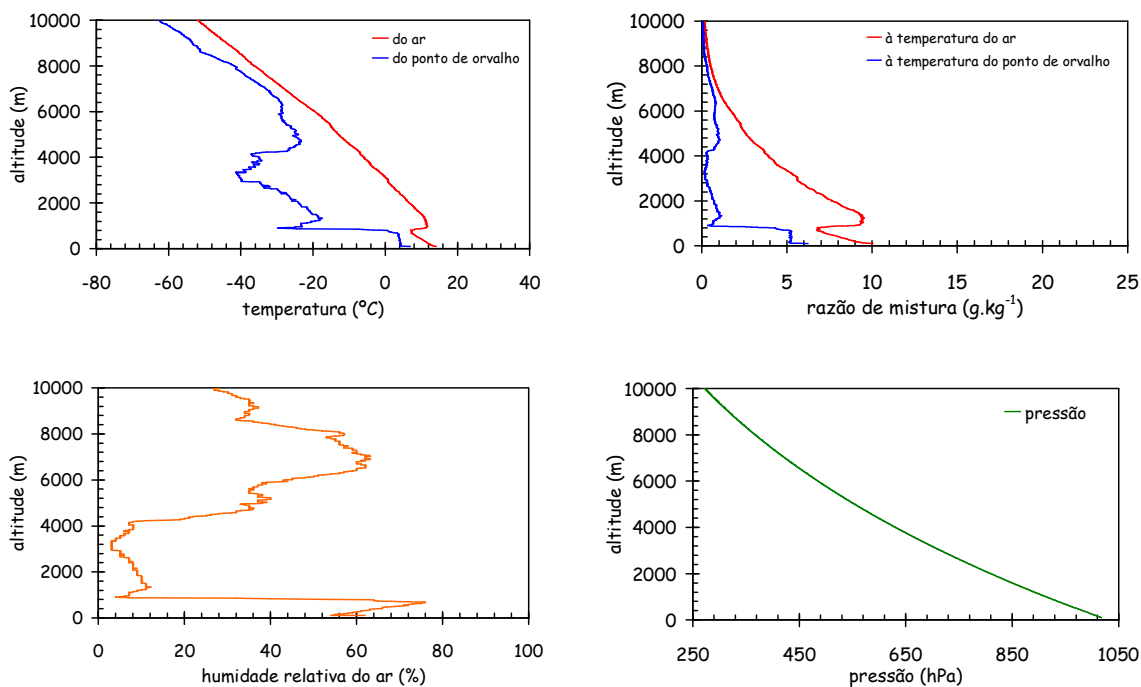


Figura 4.24 - Radiossondagem realizada no dia 29 de Fevereiro de 2000 às 12 horas

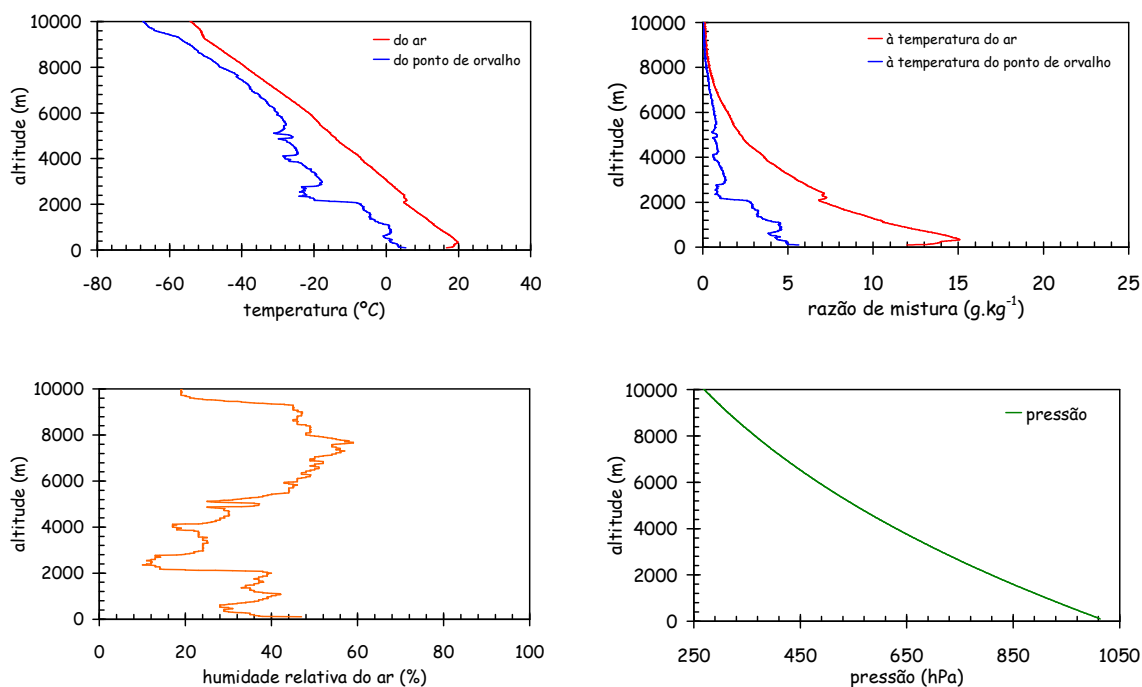


Figura 4.25 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Março de 2000 às 0 horas

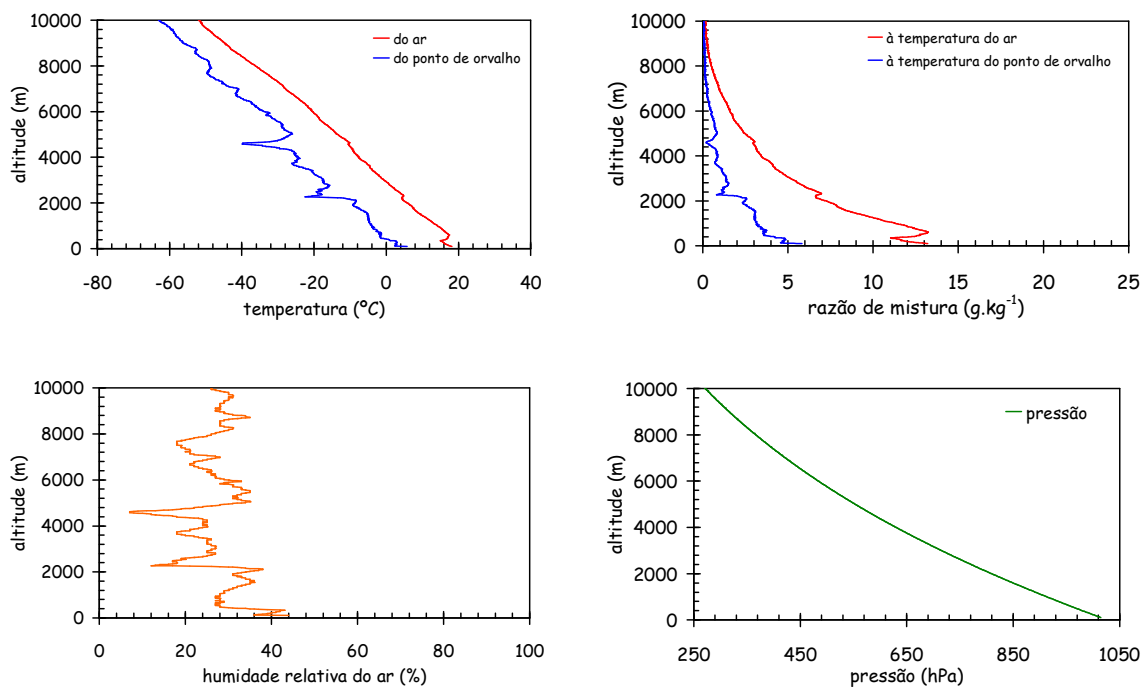


Figura 4.26 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Março de 2000 às 12 horas

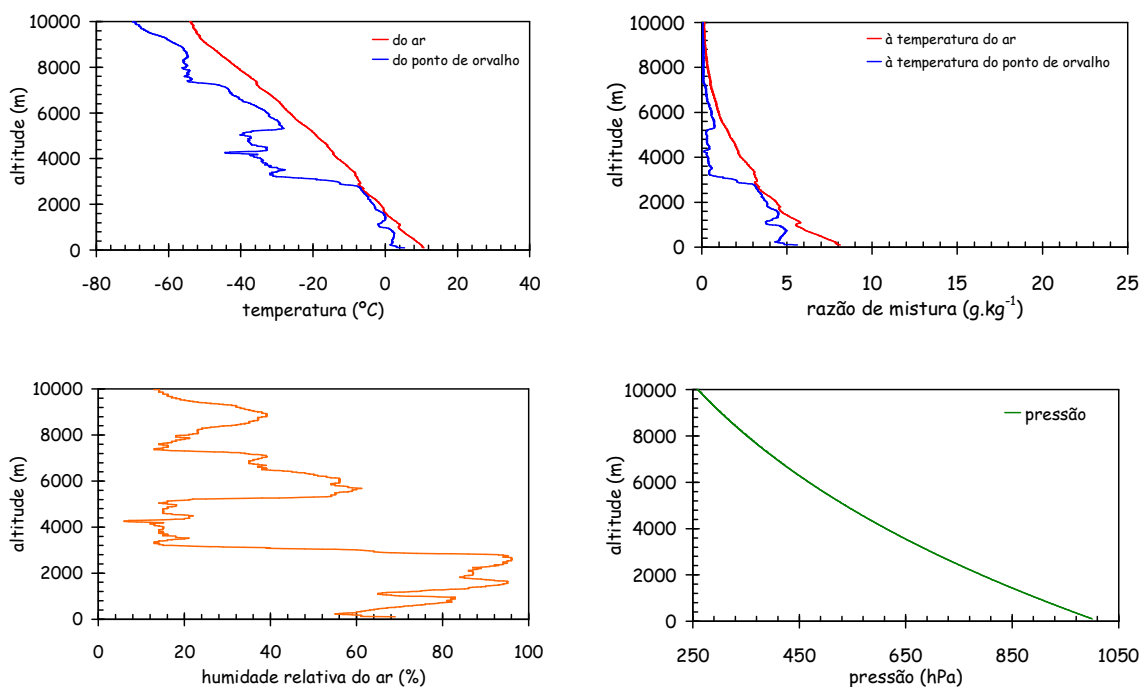


Figura 4.27 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Março de 2000 às 0 horas

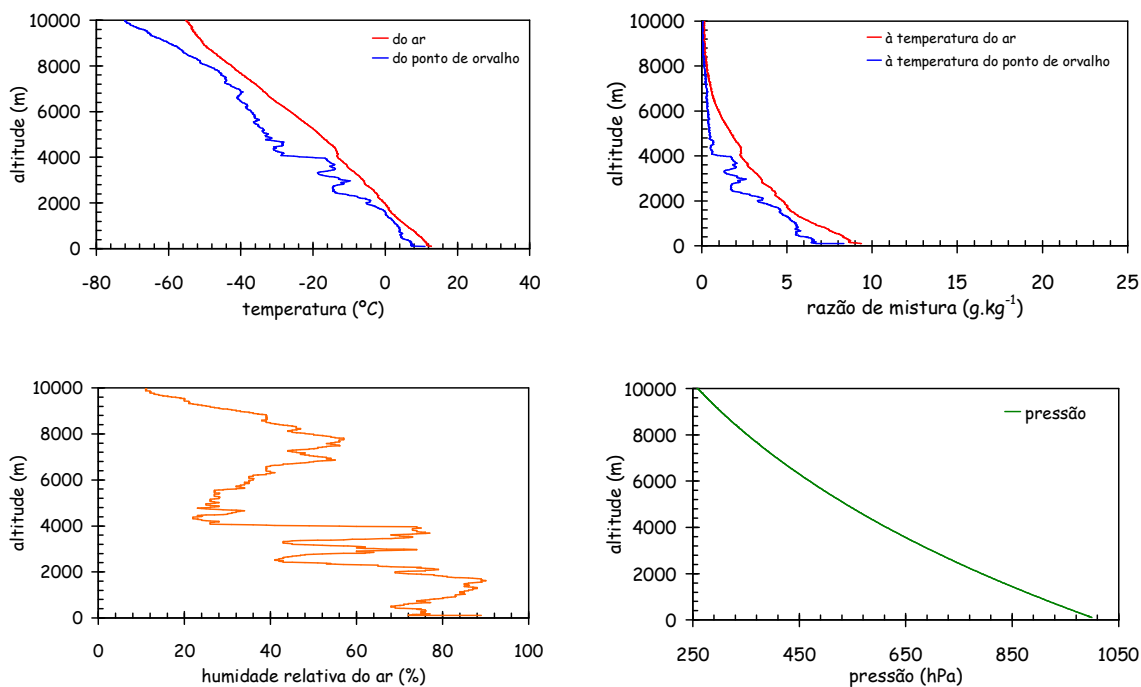


Figura 4.28 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Março de 2000 às 12 horas



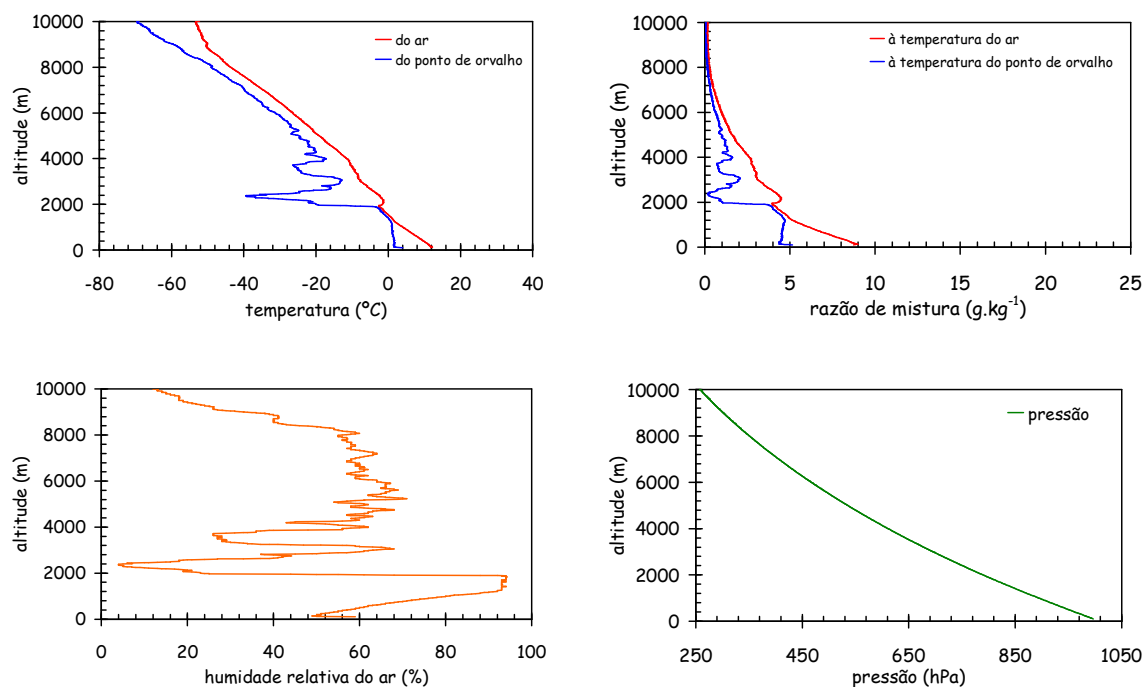


Figura 4.29 - Radiossonagem realizada no dia 15 de Abril de 2000 às 0 horas

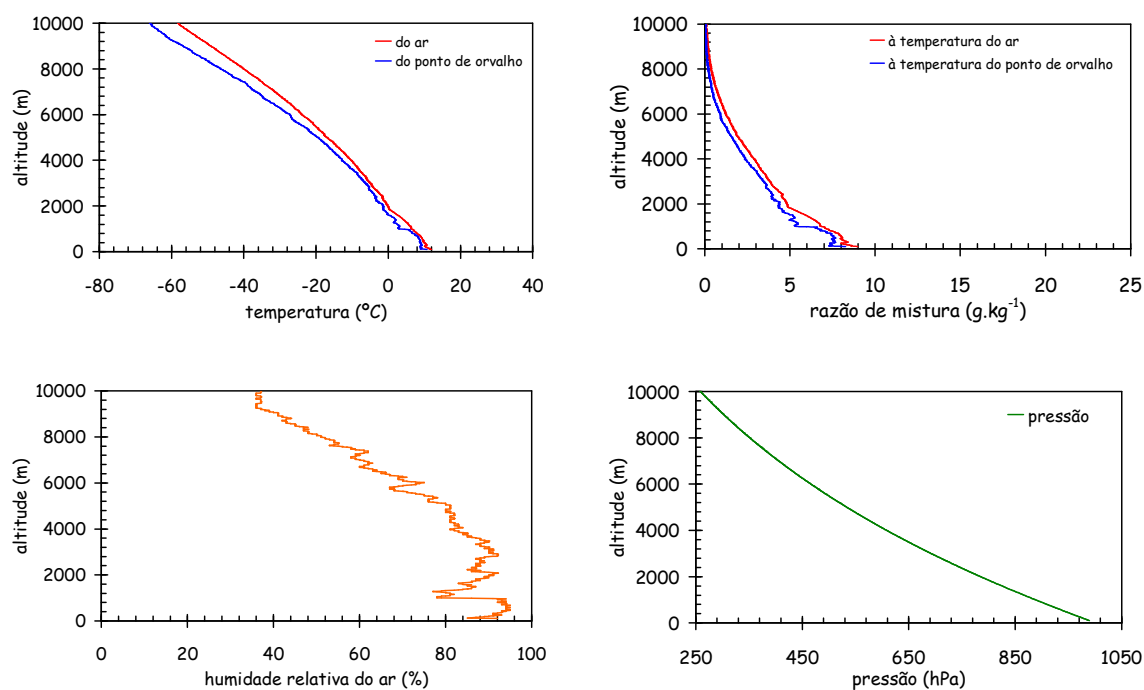


Figura 4.30 - Radiossonagem realizada no dia 15 de Abril de 2000 às 12 horas

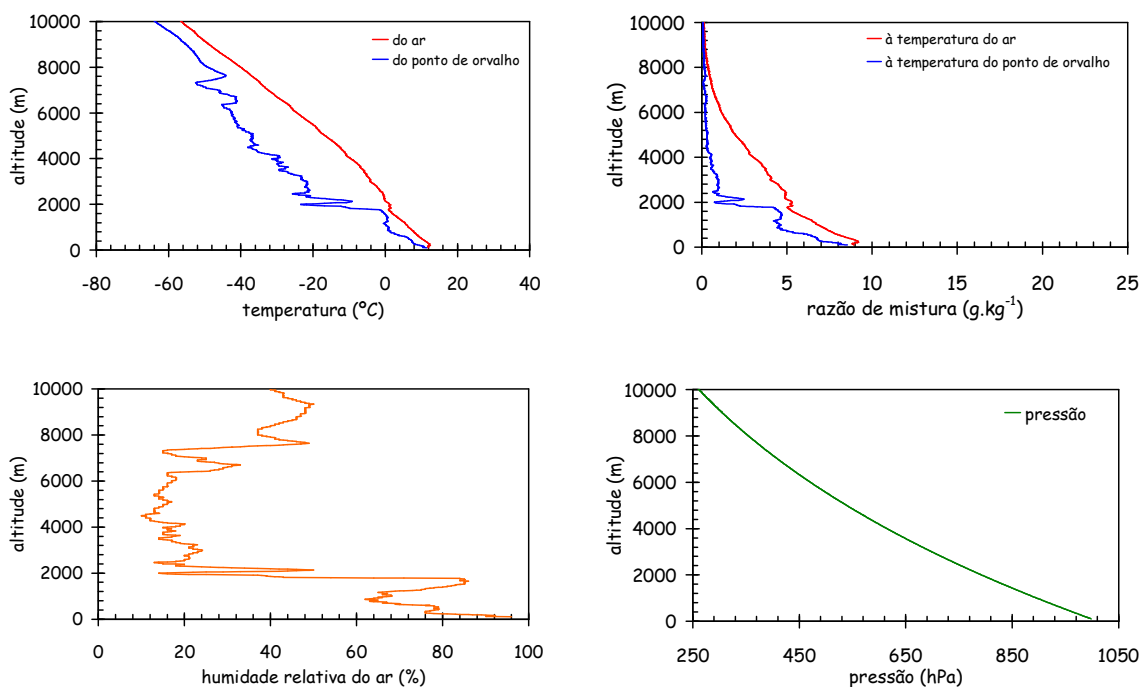


Figura 4.31 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Abril de 2000 às 0 horas

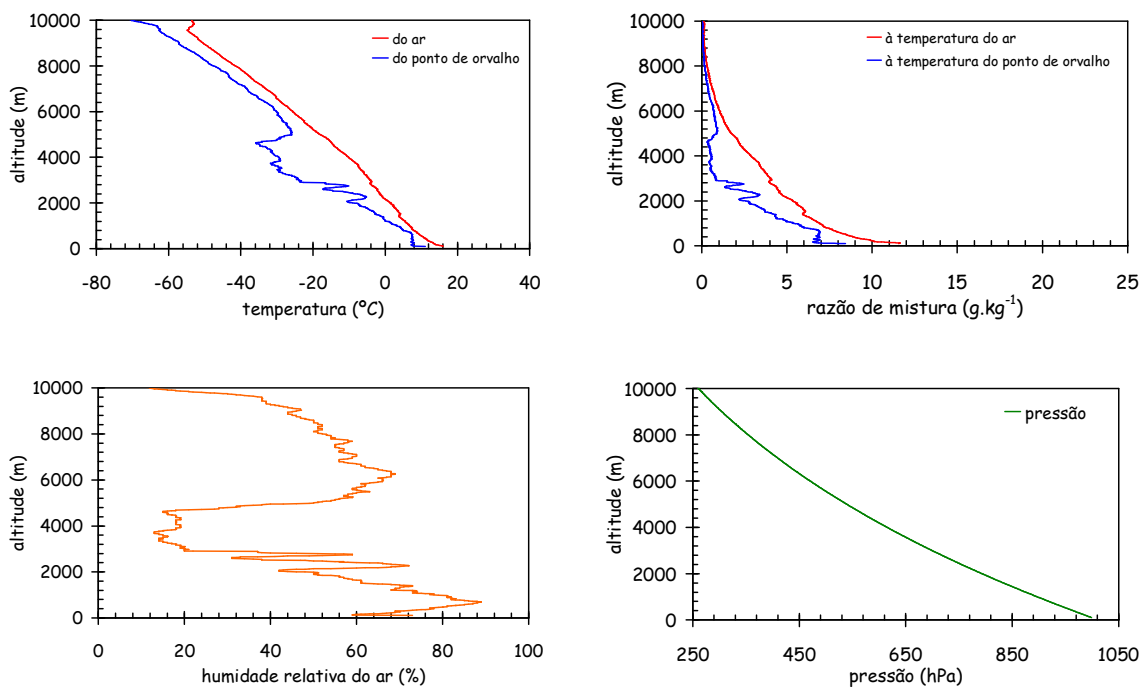


Figura 4.32 - radiossondagem realizada no dia 30 de Abril de 2000 às 12 horas

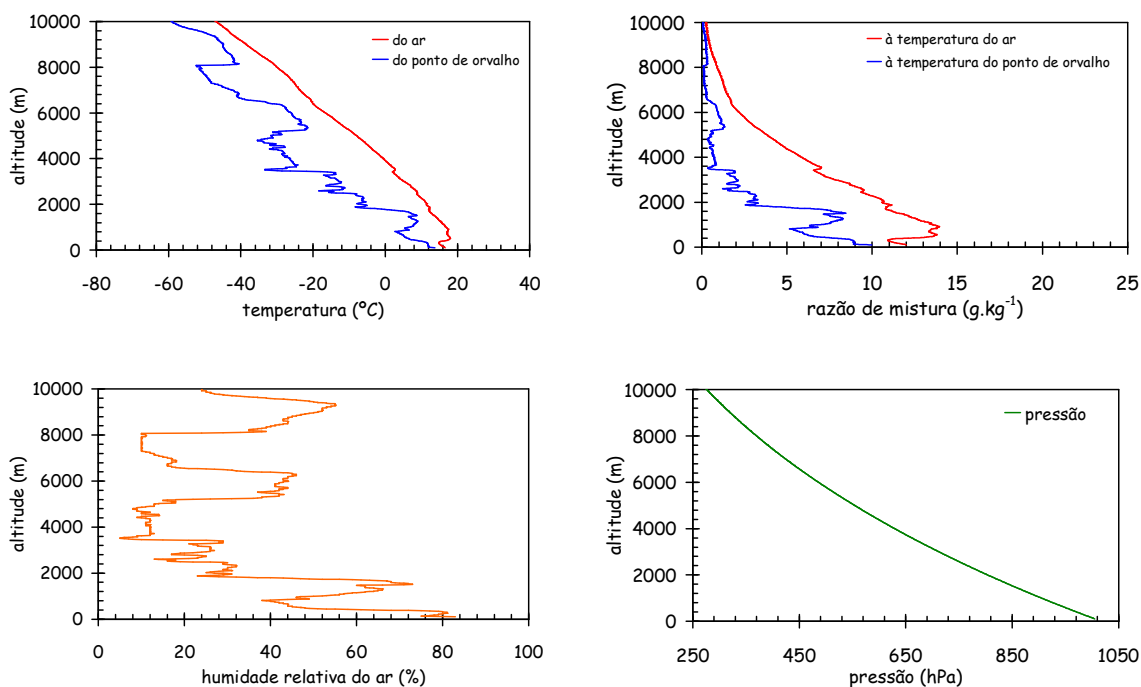


Figura 4.33 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Maio de 2000 às 0 horas

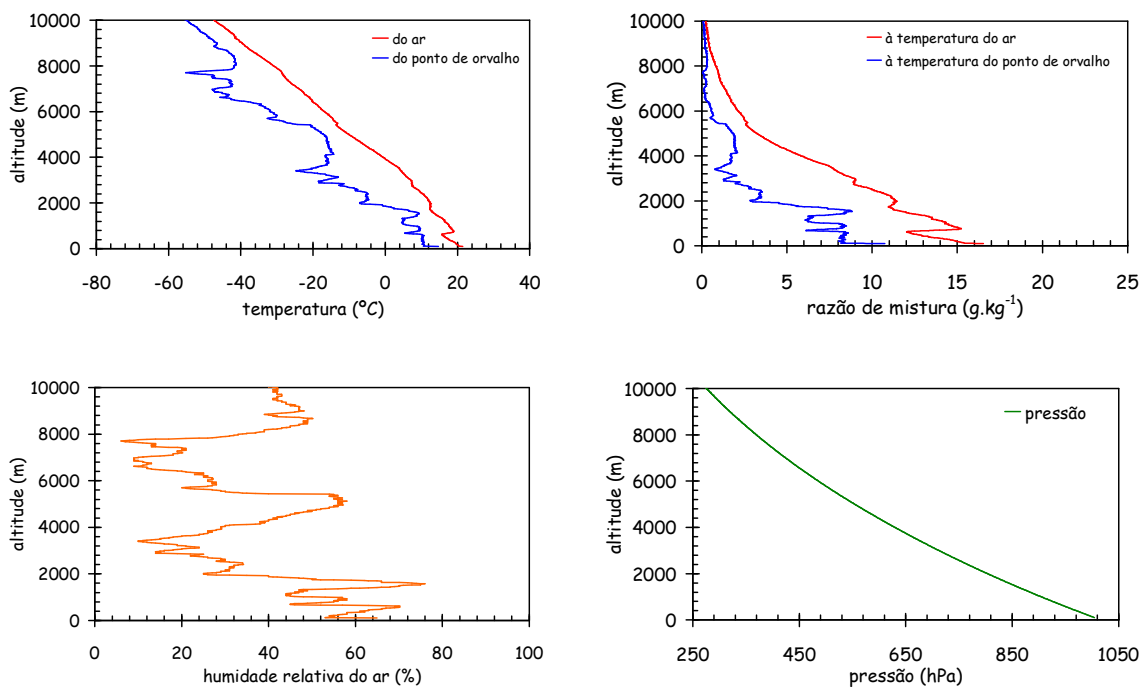


Figura 4.34 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Maio de 2000 às 12 horas

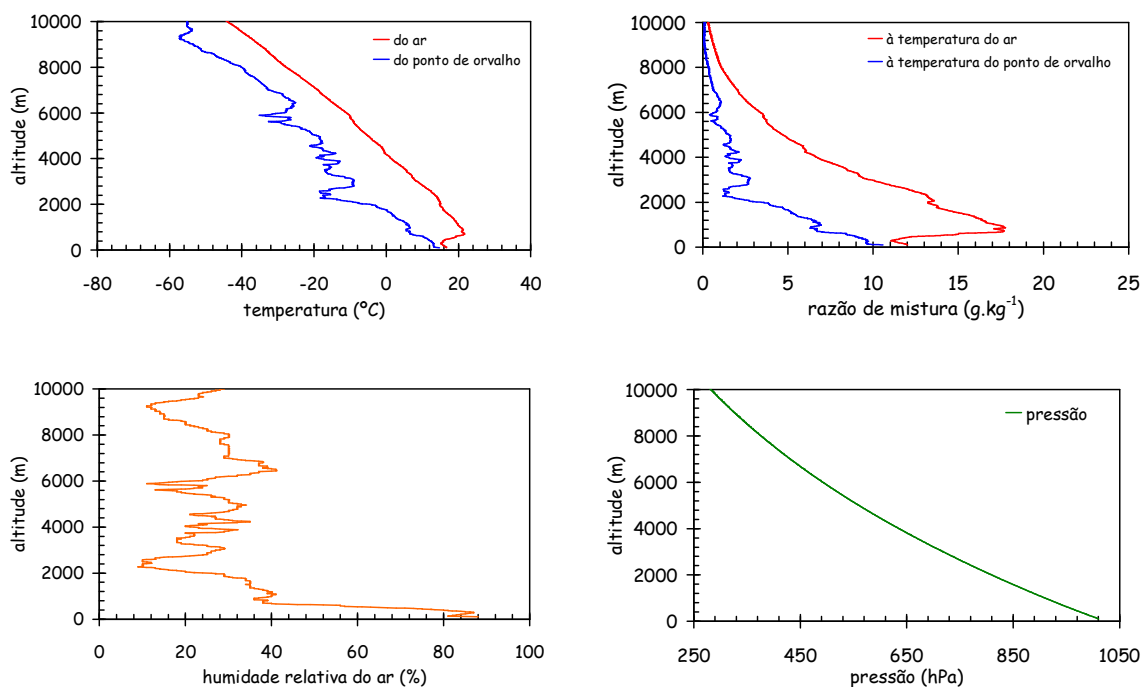


Figura 4.35 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Maio de 2000 às 0 horas

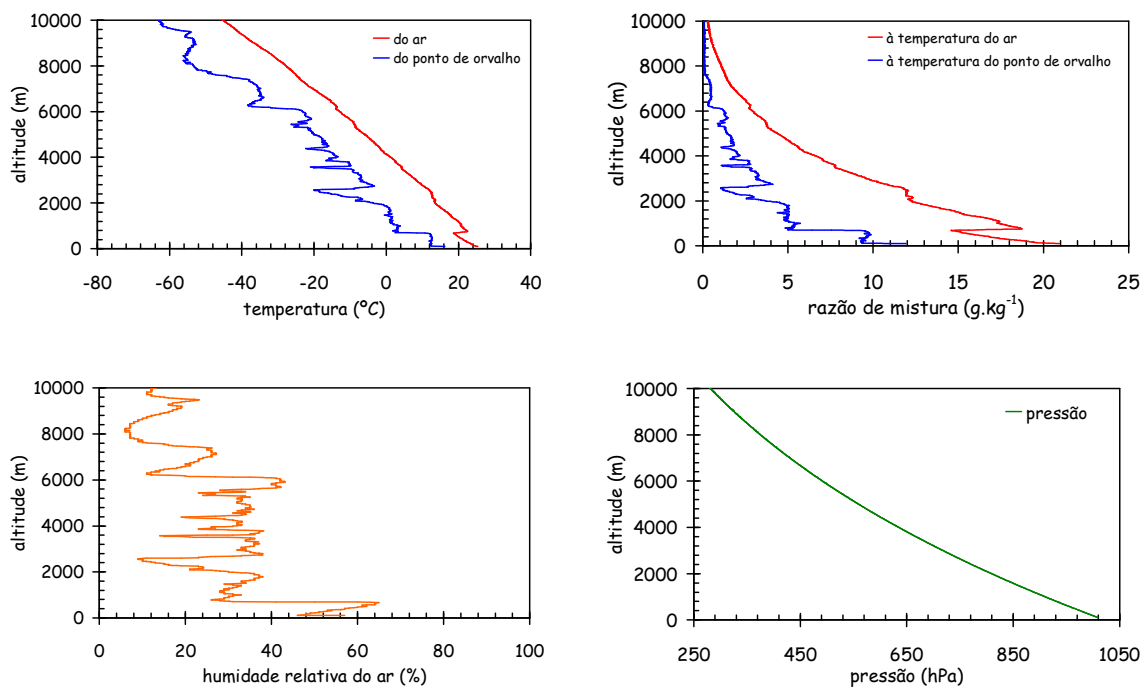


Figura 4.36 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Maio de 2000 às 12 horas

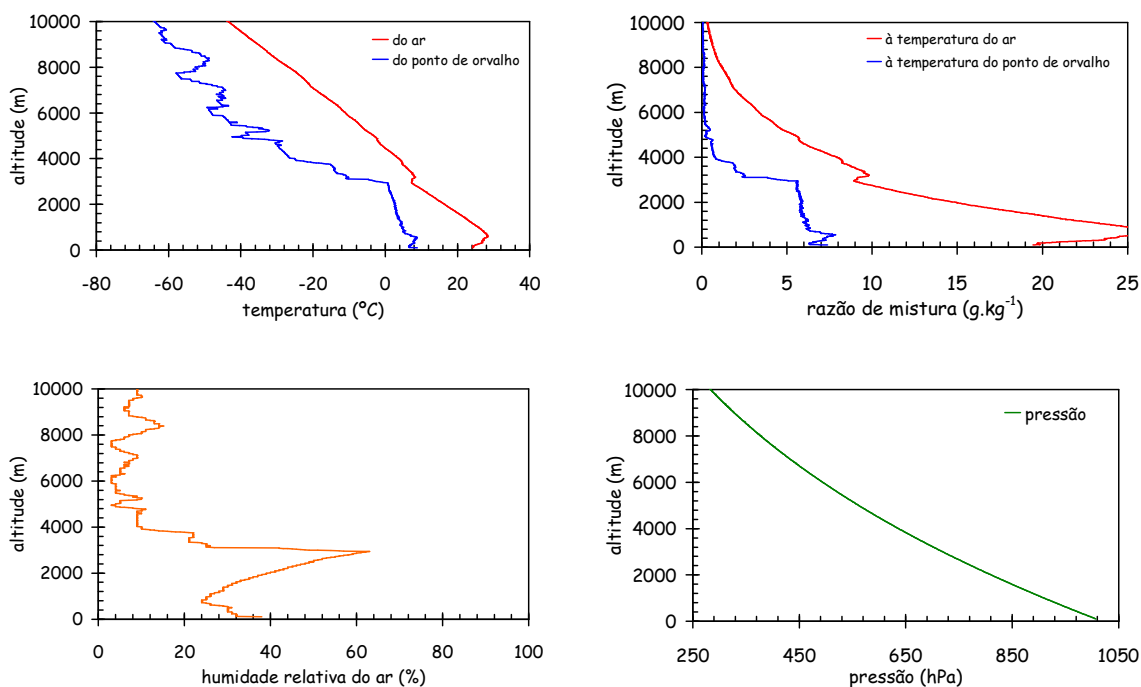


Figura 4.37 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Junho de 2000 às 0 horas

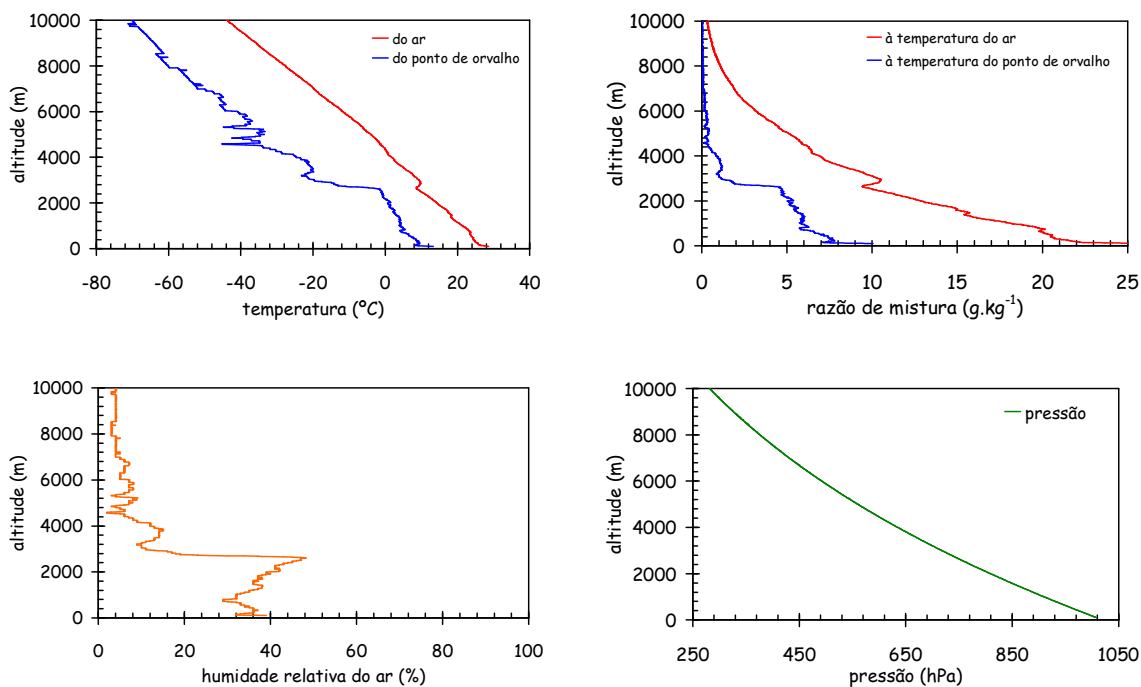


Figura 4.38 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Junho de 2000 às 12 horas

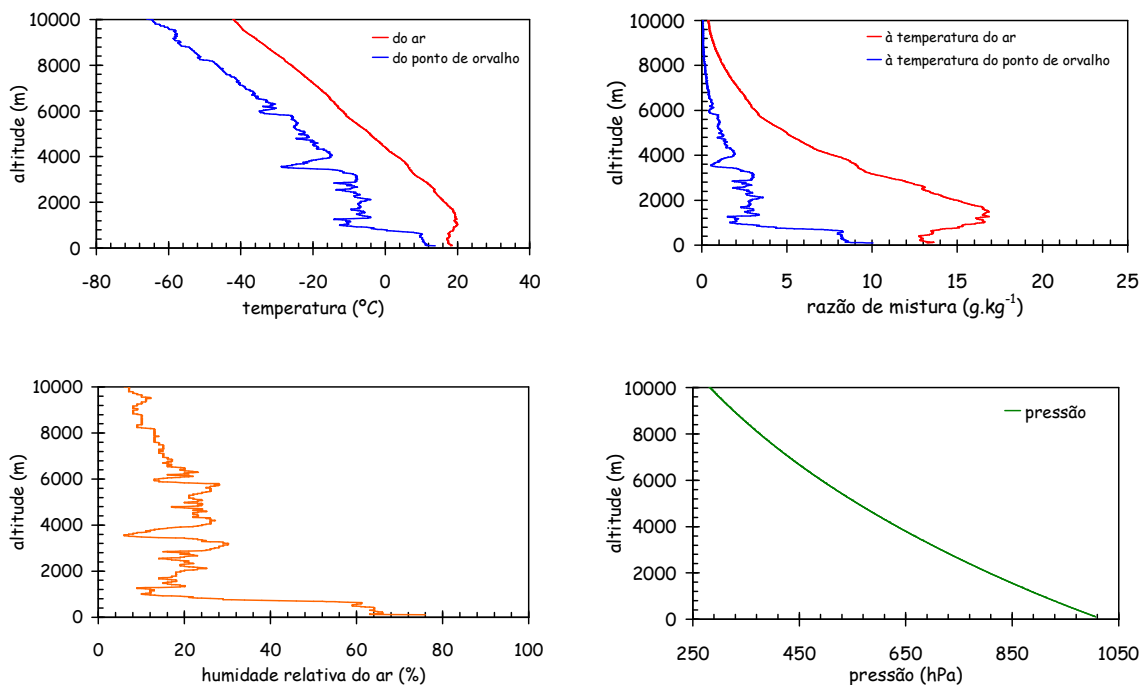


Figura 4.39 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Junho de 2000 às 0 horas

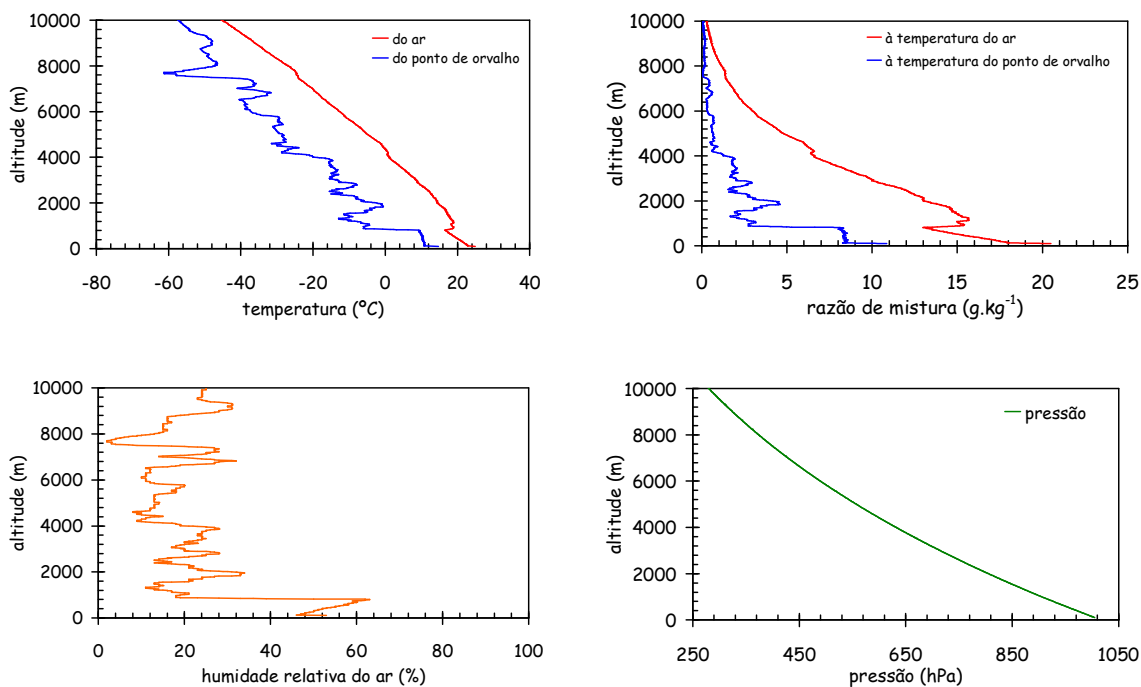


Figura 4.40 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Junho de 2000 às 12 horas

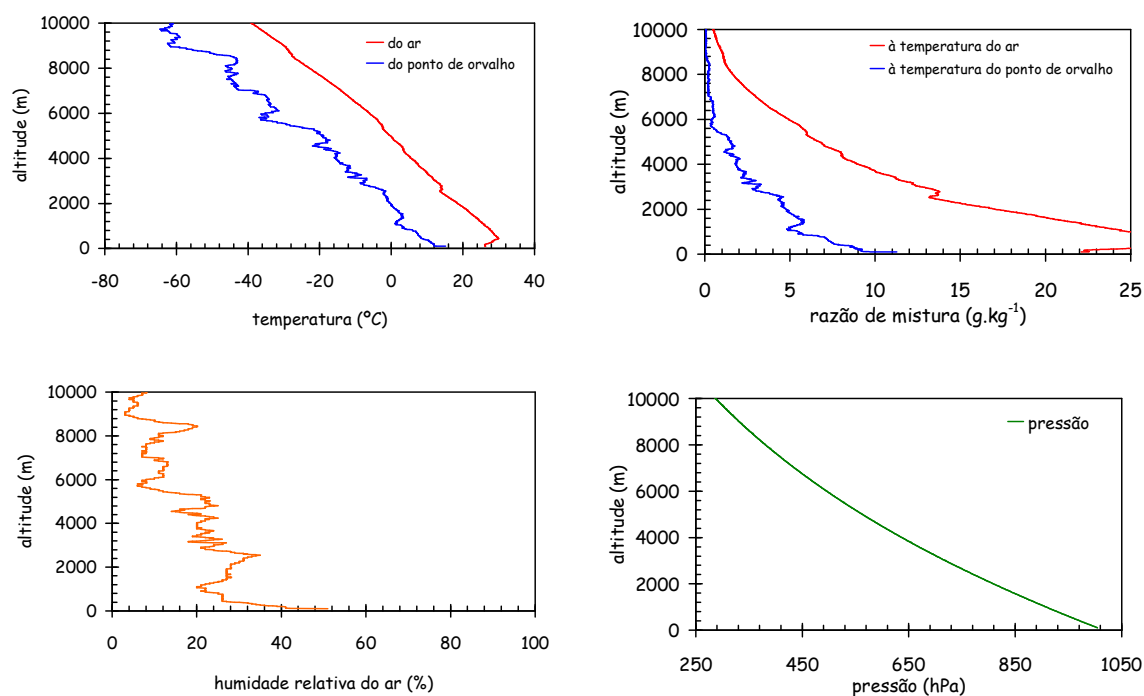


Figura 4.41 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Julho de 2000 às 0 horas

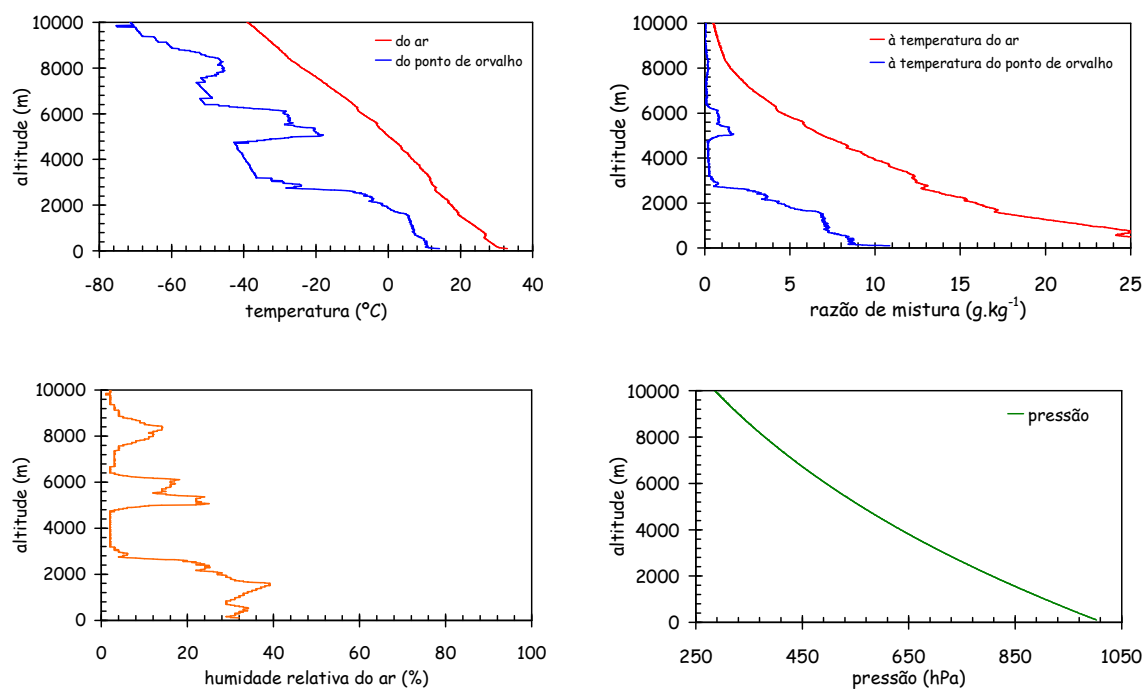


Figura 4.42 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Julho de 2000 às 12 horas

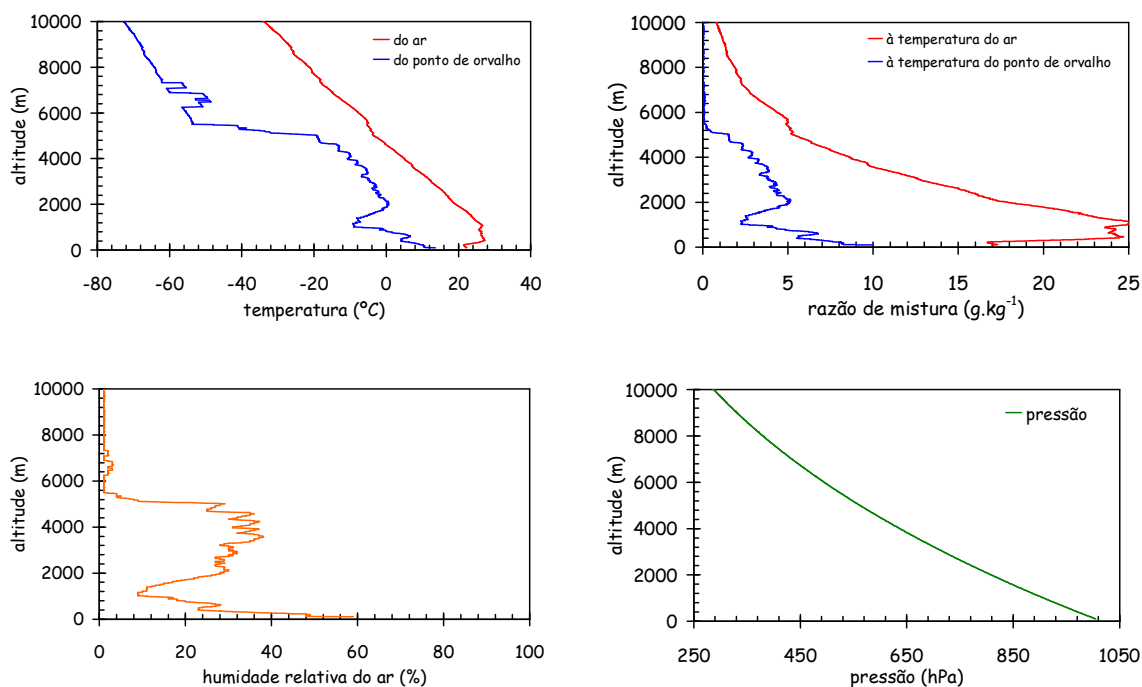


Figura 4.43 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Julho de 2000 às 0 horas

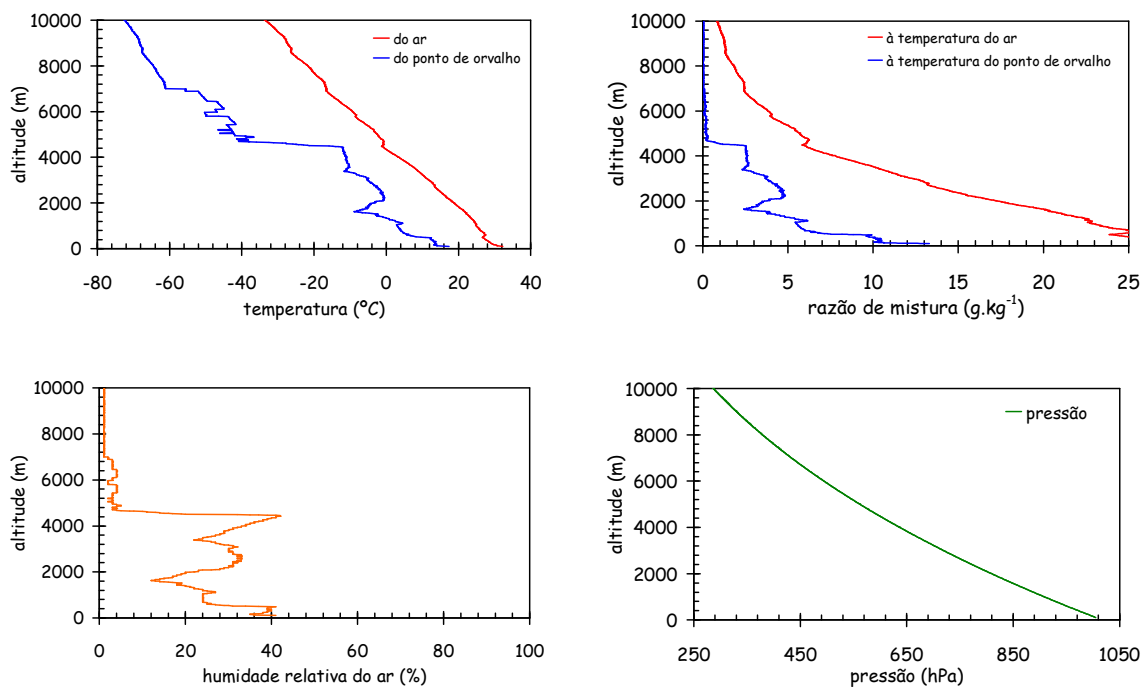


Figura 4.44 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Julho de 2000 às 12 horas



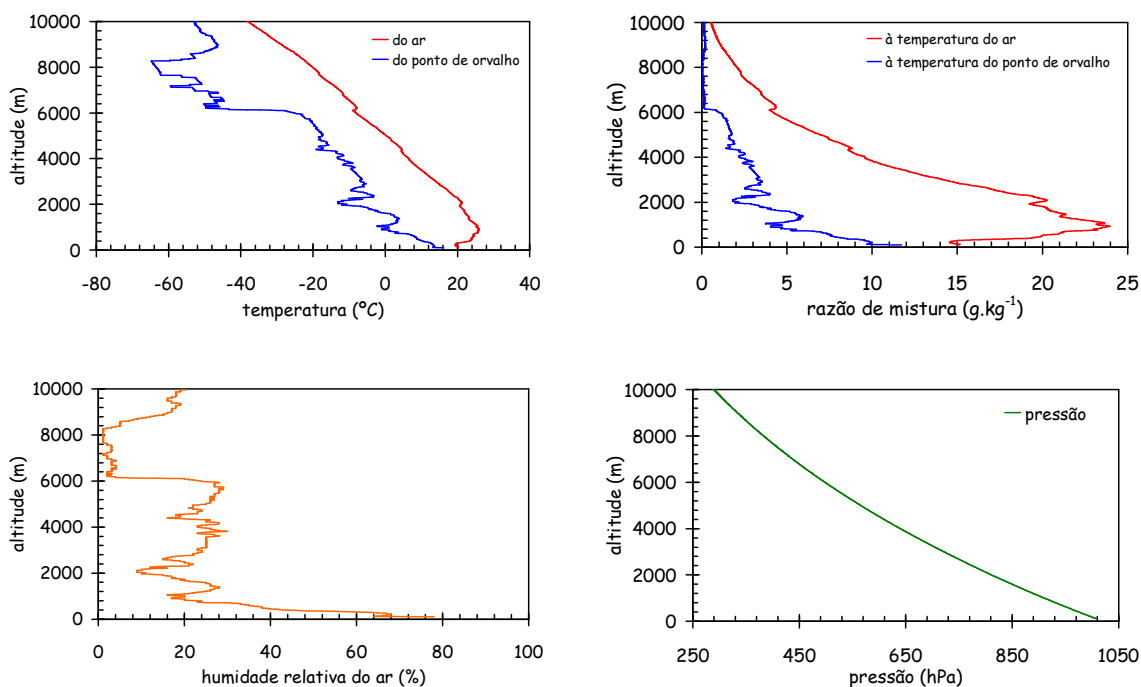


Figura 4.45 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Agosto de 2000 às 0 horas

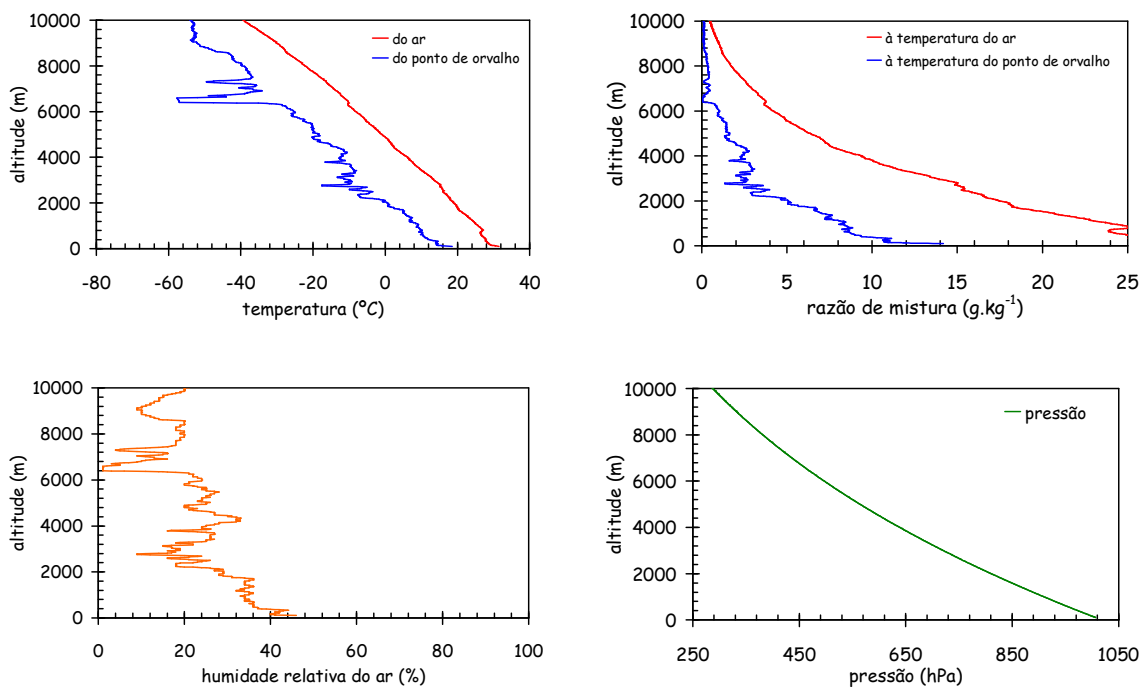


Figura 4.46 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Agosto de 2000 às 12 horas

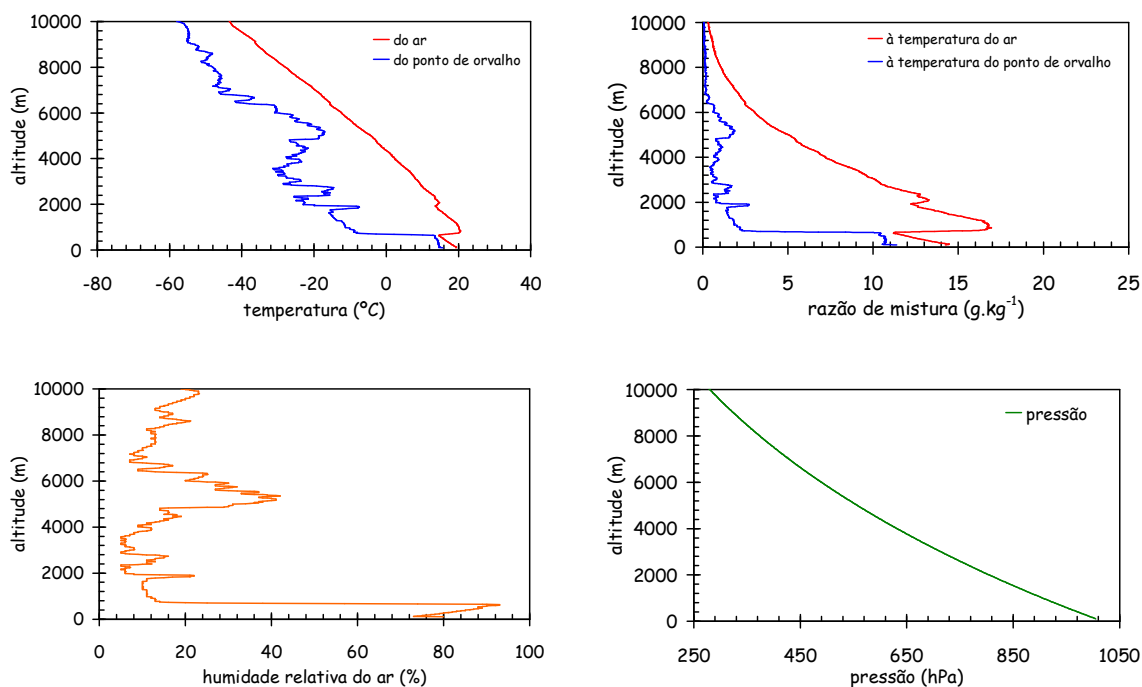


Figura 4.47 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Agosto de 2000 às 0 horas

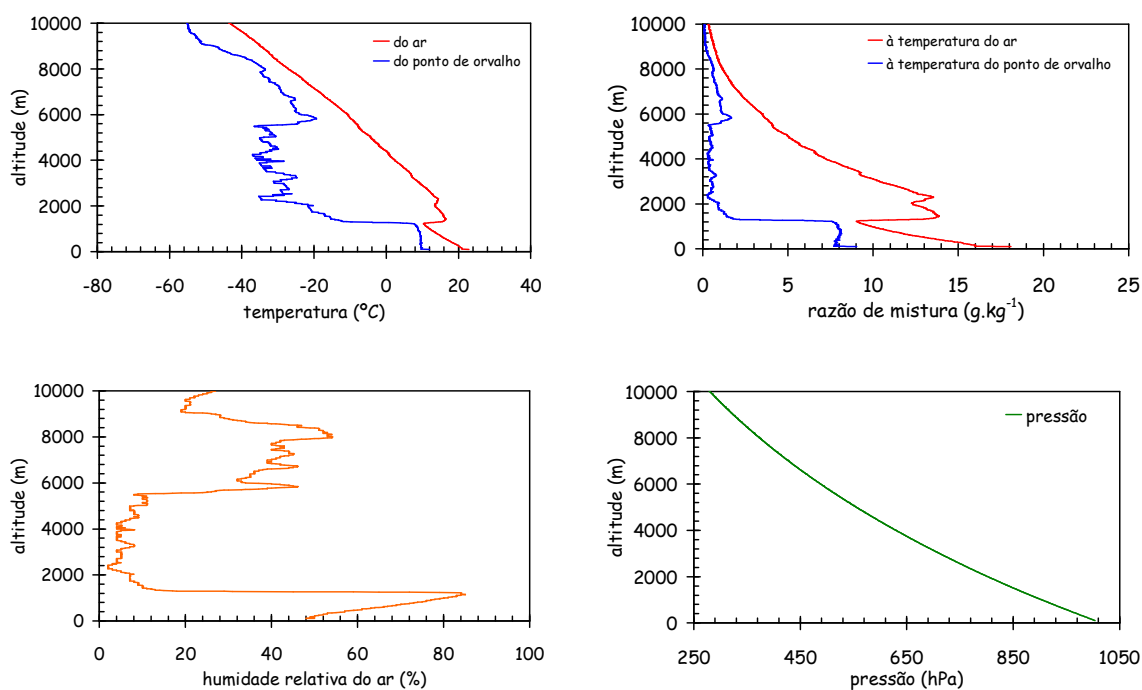


Figura 4.48 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Agosto de 2000 às 12 horas

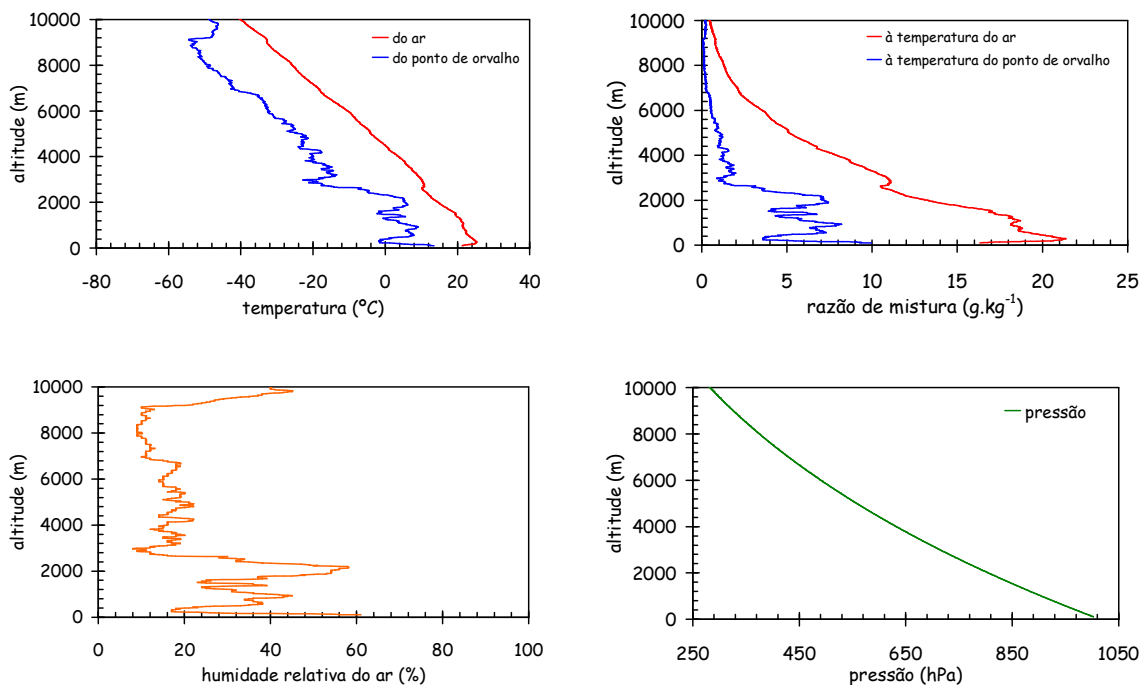


Figura 4.49 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Setembro de 2000 às 0 horas

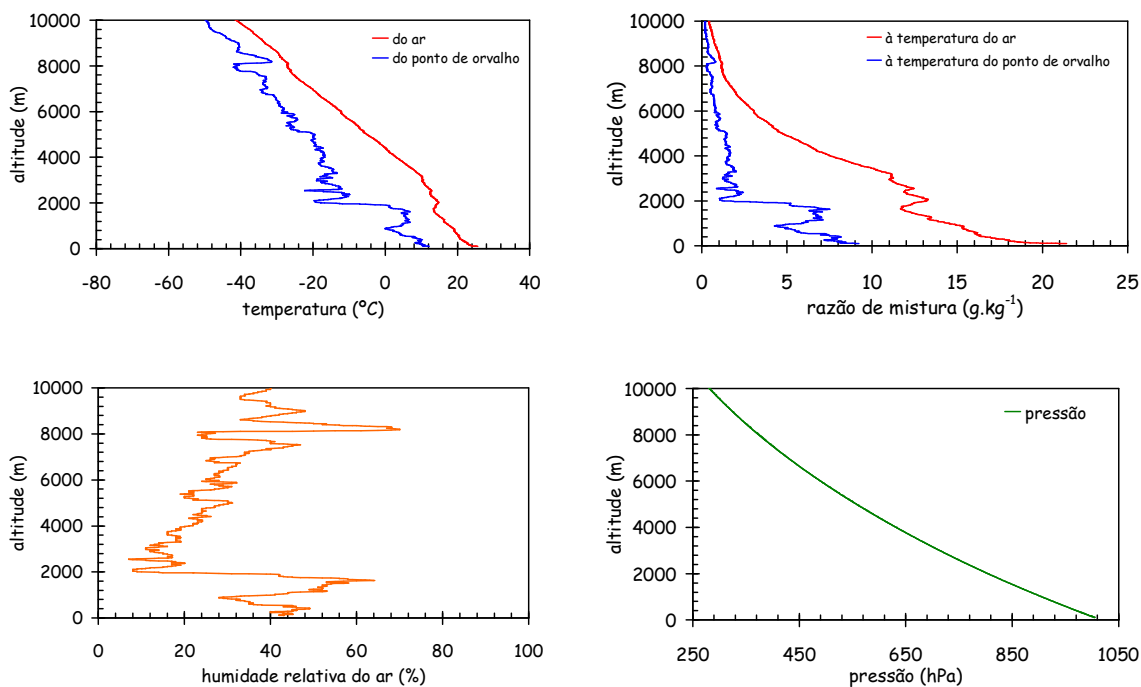


Figura 4.50 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Setembro de 2000 às 12 horas

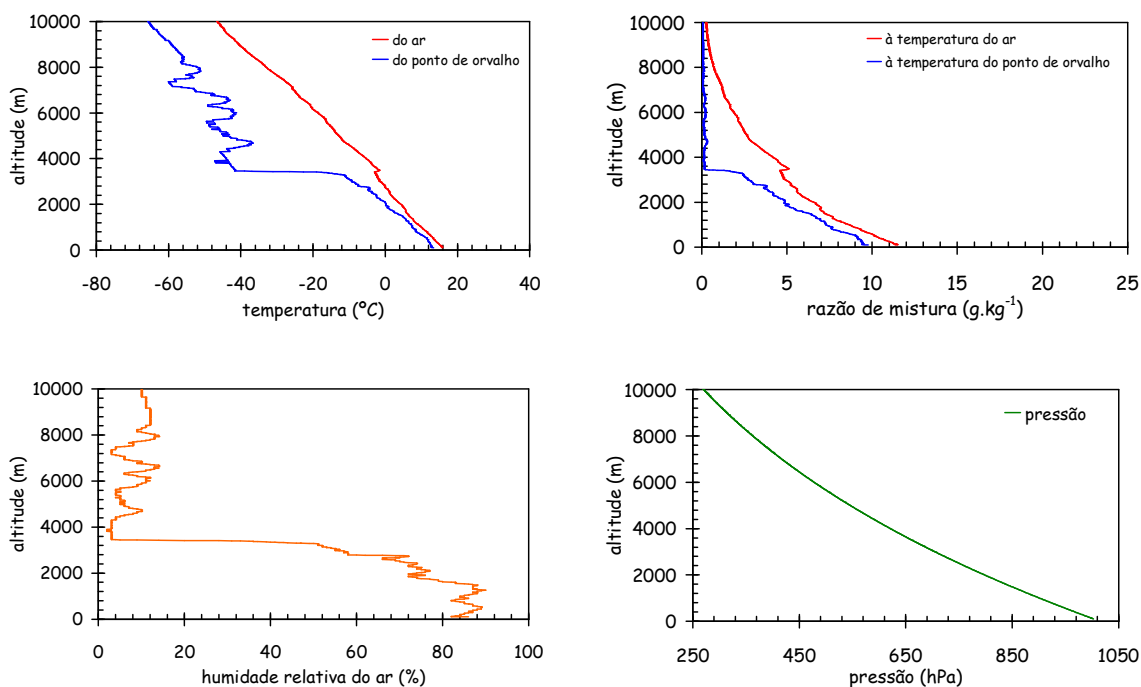


Figura 4.51 - Radiosondagem realizada no dia 30 de Setembro de 2000 às 0 horas

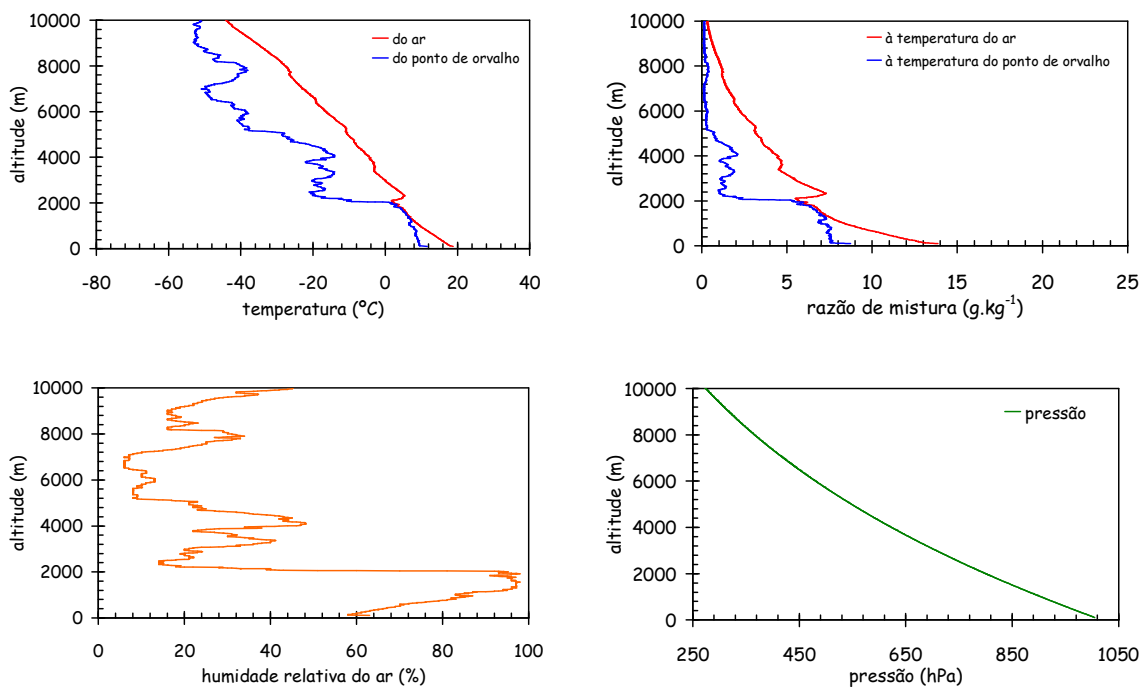


Figura 4.52 - Radiosondagem realizada no dia 30 de Setembro de 2000 às 12 horas

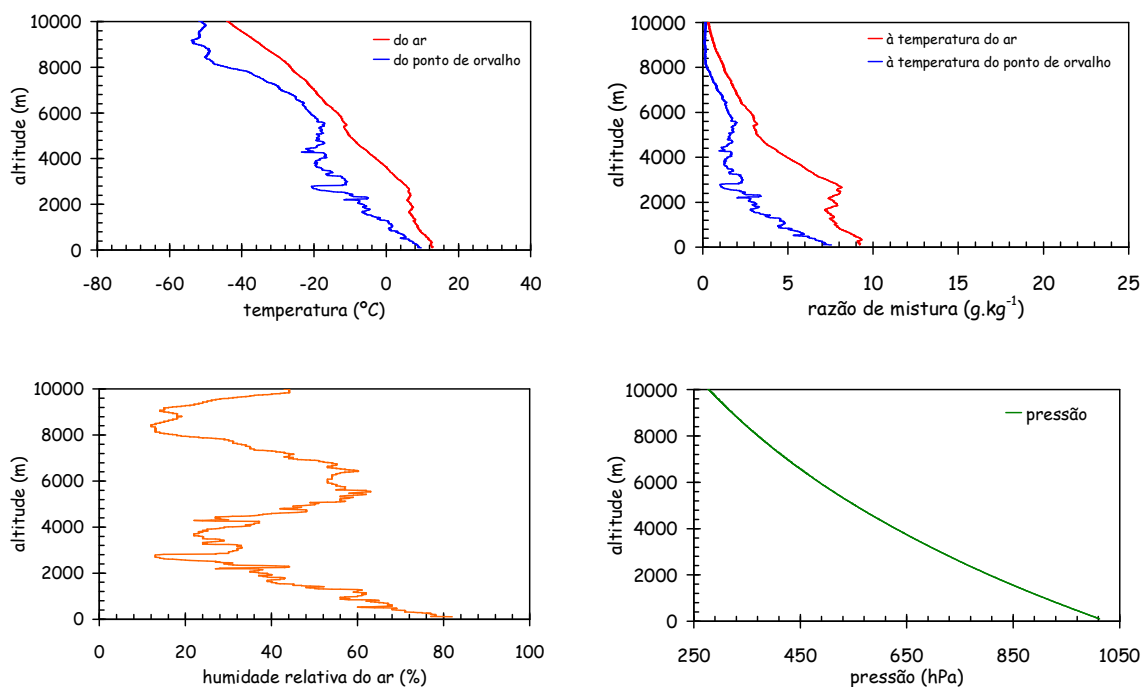


Figura 4.53 - Radiosondagem realizada no dia 30 de Outubro de 2000 às 0 horas

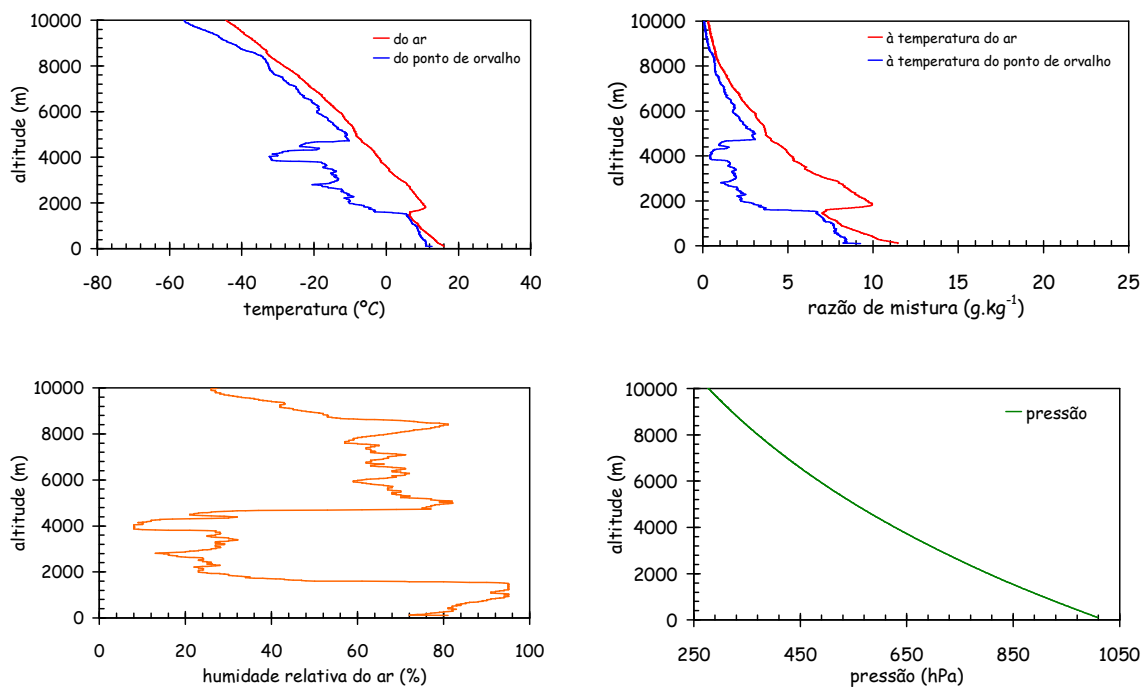


Figura 4.54 - Radiosondagem realizada no dia 30 de Outubro de 2000 às 12 horas

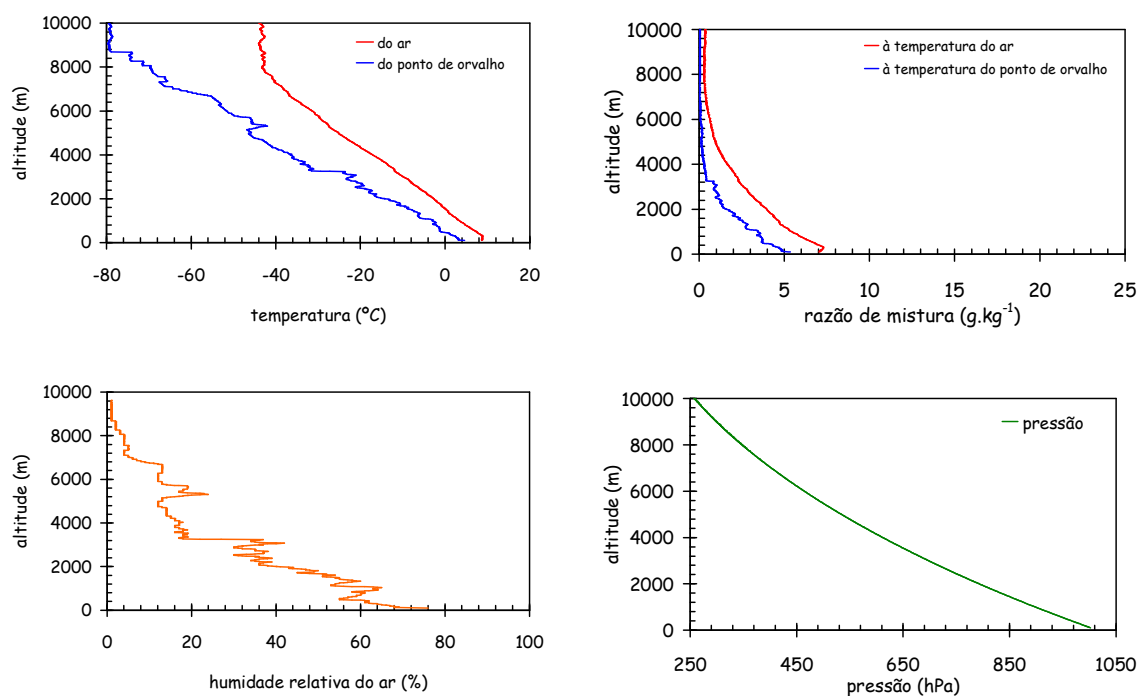


Figura 4.55 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Novembro de 2000 às 0 horas

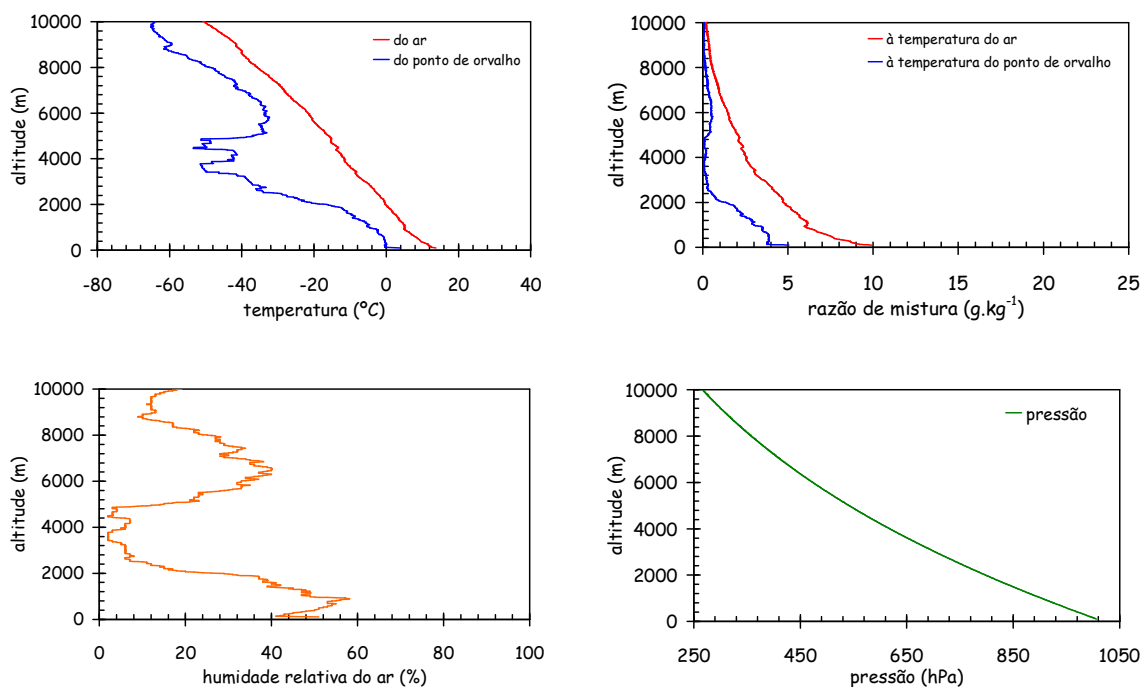


Figura 4.56 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Novembro de 2000 às 12 horas

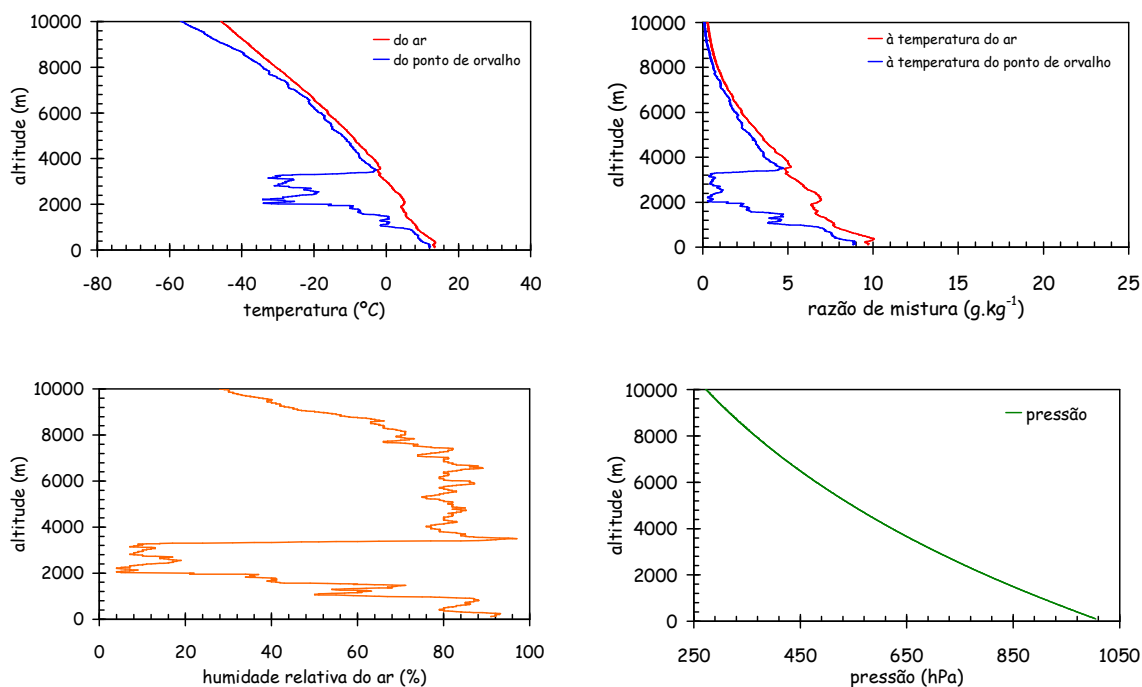


Figura 4.57 - Radiossondagem realizada no dia 30 de Novembro de 2000 às 0 horas

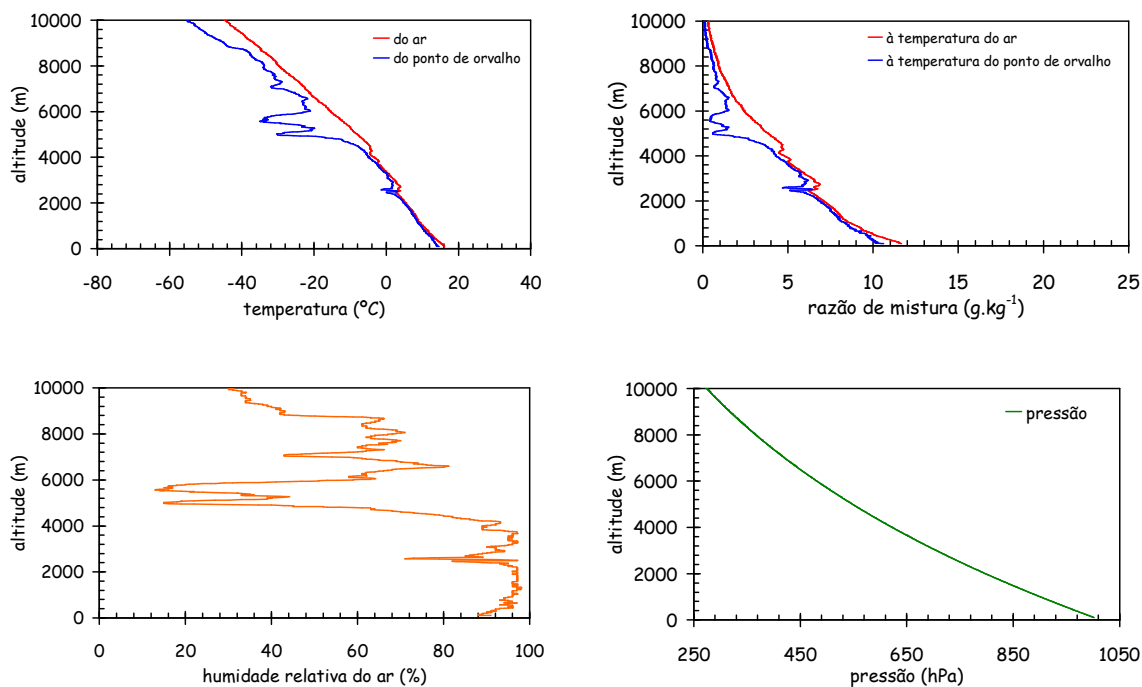


Figura 4.58 - radiossondagem realizada no dia 30 de Novembro de 2000 às 12 horas

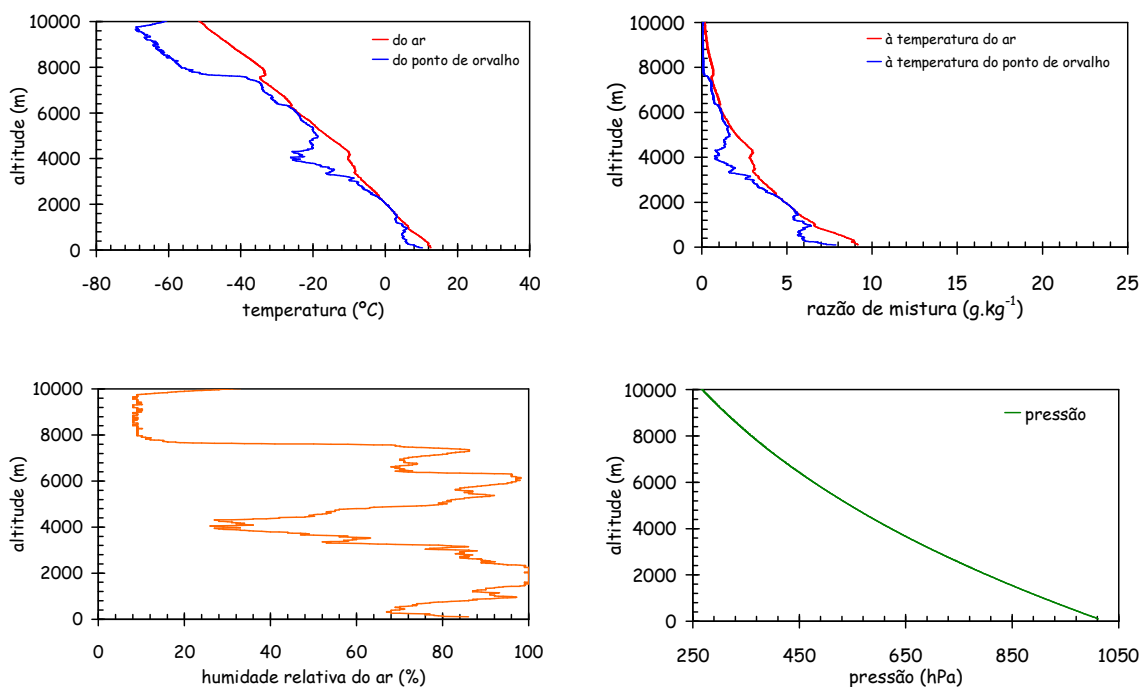


Figura 4.59 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Dezembro de 2000 às 0 horas

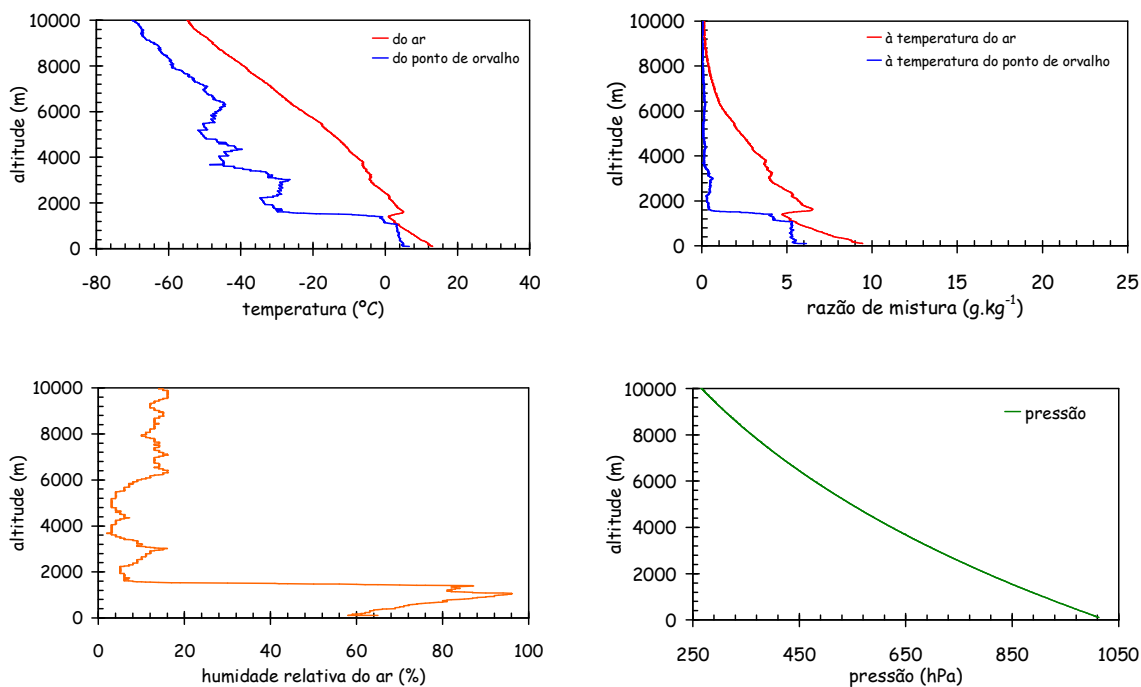


Figura 4.60 - Radiossondagem realizada no dia 15 de Dezembro de 2000 às 12 horas



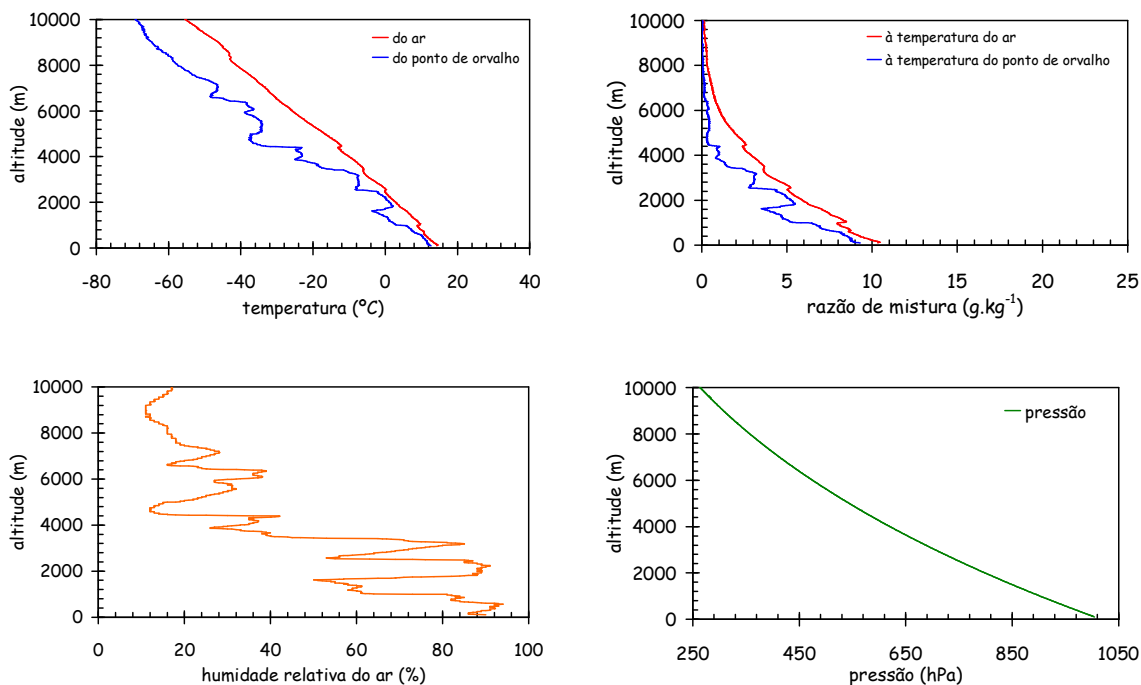


Figura 4.61 - Radiosondagem realizada no dia 30 de Dezembro de 2000 às 0 horas

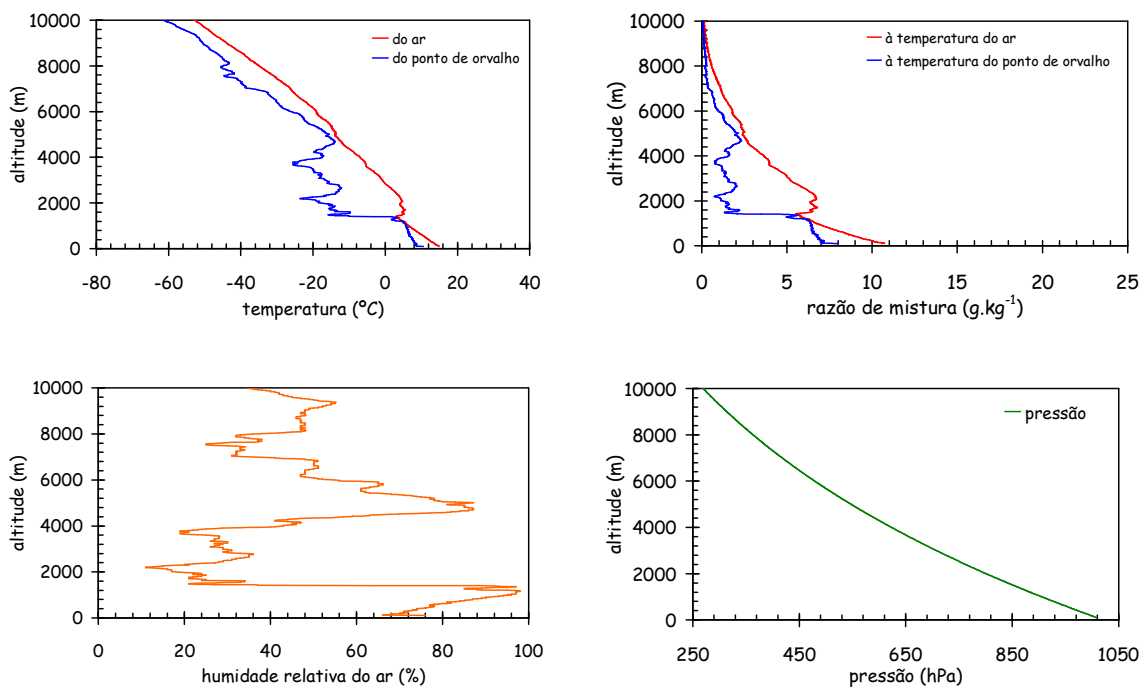


Figura 4.62 - Radiosondagem realizada no dia 30 de Dezembro de 2000 às 12 horas

A nossa intenção em apresentar esta sequência de figuras de radiossondagens, deve-se a dar um conhecimento ao leitor da dinâmica dos parâmetros meteorológicos em altitude, durante um ano. Não se apresentou a radiossondagem para o dia 15 de Outubro ou dia próximo, por não ter sido realizada.

Consideramos interessante fazer um estudo comparativo, da estrutura vertical da atmosfera, para quatro dias diferentes: 5 de Janeiro, 15 de Maio, 15 de Agosto e 30 de Outubro de 2000, para a mesma hora. Por estratégia comparativa, manteve-se, em todos os gráficos, o dia de Agosto.

A Figura 4.63 mostra como se apresentou a humidade relativa do ar em altitude para as quatro radiossondagens seleccionadas. A observação visual da figura mostra que a humidade relativa do ar em Janeiro apresenta valores próximos da saturação e que em Agosto apresenta valores inferiores, como seria esperado.

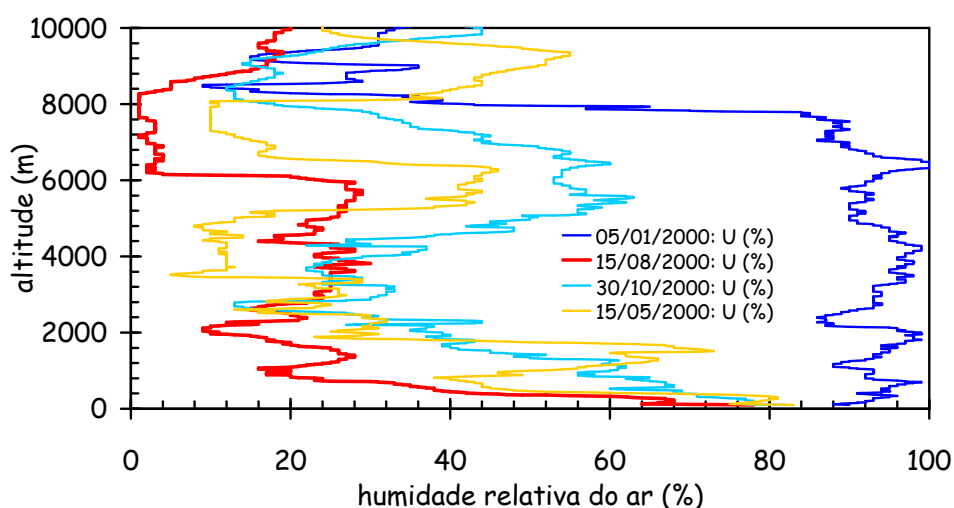


Figura 4.63 - Humidade relativa em altitude: Janeiro, Maio, Agosto e Outubro

A Figura 4.63 ainda mostra que a dinâmica da atmosfera revela um aumento da humidade relativa do ar de Agosto para Janeiro. A observação visual indica que o dia de Agosto regista em toda a altitude uma menor humidade relativa do ar, enquanto o dia de Janeiro mostra, até cerca dos 8000 m de altitude, uma elevada humidade relativa do ar, e que se houver condições apropriadas (basta um arrefecimento do “pacote de ar”) pode surgir precipitação, com queda de gotas de água.

As Figuras 4.64 à 4.66 mostram as diferenças existentes da temperatura do ar e da temperatura do ponto de orvalho do dia de Agosto em face aos dias de Janeiro, Maio e de Outubro.

Como seria esperado, a temperatura do ar diminui em altitude, com um declive sensivelmente constante de cerca de  $7^{\circ}\text{C}/\text{km}$ . Este valor é designado de gradiente vertical de temperatura (mede a variação de temperatura em altitude). Este resultado é muito importante porque se este valor for introduzido na equação da hidrostática é possível avaliar o comportamento da pressão em altitude.

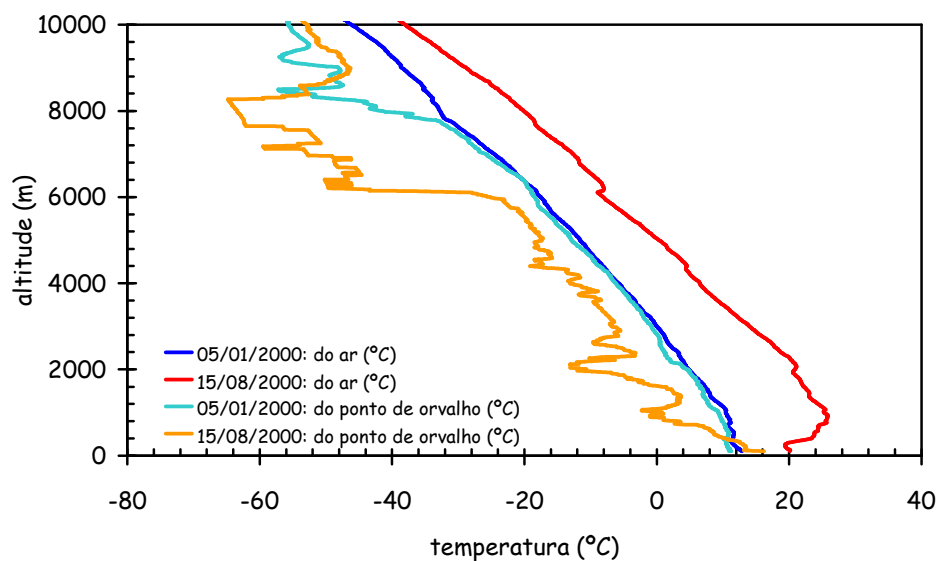


Figura 4.64 - Radiossondagens realizadas: dia 5/01 e 15/08 de 2000

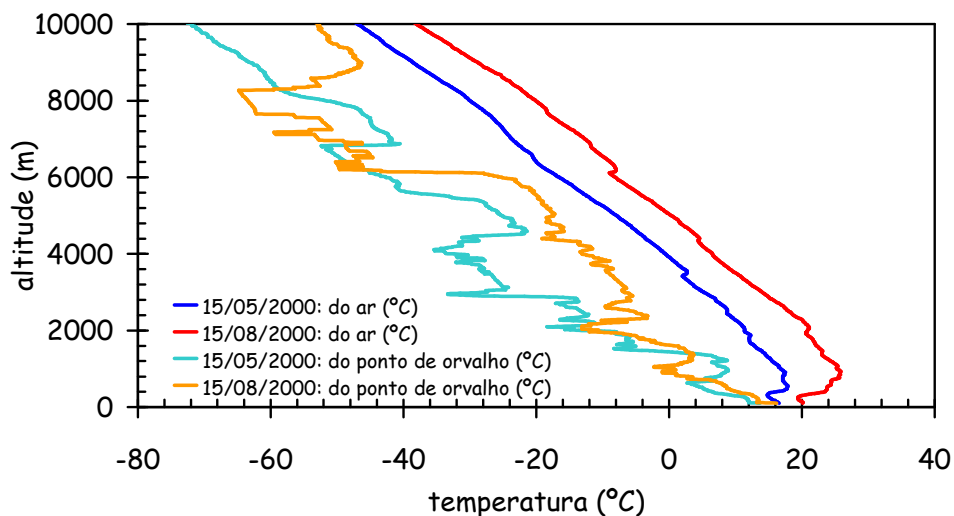


Figura 4.65 - Radiossondagens realizadas: dia 15/05 e 15/08 de 2000

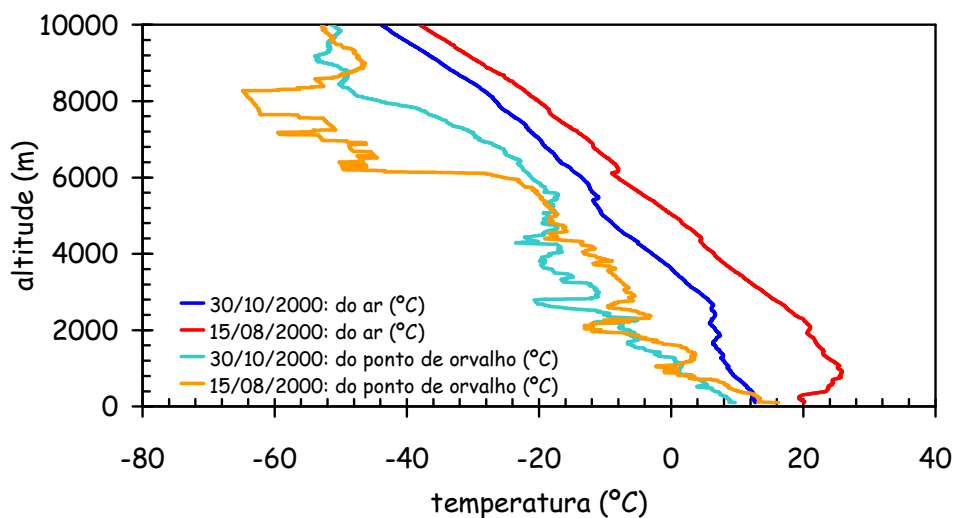


Figura 4.66 - Radiossondagens realizadas: dia 30/10 e 15/08 de 2000

Para o dia de Agosto até cerca de 800 metros de altitude, regista-se uma inversão de temperatura ou seja há um aumento de temperatura com a altitude. Esta situação, não foi analisada no âmbito desta dissertação, no

entanto parece-nos que pode ser devida à poluição que se fez sentir em Lisboa.

As linhas de temperatura do ar para Maio e Agosto parecem apresentar uma diferença de valor sistemático, e esta situação está em acordo com o esperado. O que parece determinar uma diminuição da humidade relativa do ar é o valor registado para a temperatura do ar. Esta dinâmica ao longo do ano, provocada pela esfericidade da Terra e pela inclinação do eixo de rotação da Terra, durante a sua trajectória dada pelo movimento de translação, condiciona a temperatura não só do solo mas também da camada de ar adjacente à superfície terrestre. Se a temperatura do ar se aproxima da temperatura do ponto de orvalho (é um bom indicador da quantidade de água na atmosfera) o ar húmido torna-se cada vez mais próximo da saturação. Se a temperatura do ar for inferior à temperatura do ponto de orvalho, o processo de condensação de vapor de água pode ser iniciado, formando-se pequenas gotículas de água. Se houver condições atmosféricas apropriadas estas gotas podem continuar a aumentar de volume e pode surgir queda de gotas de água (chuva). O processo pode ser reversível, sem queda de gotas de água. Nesta situação, se a temperatura do ar aumentar dá-se o processo de evaporação, e tudo pode voltar à "estaca zero" (Ana Augusto e Mário Talaia, 2007; Ana Augusto e Mário Talaia, 2008)

A Figura 4.67 mostra que para os diferentes dias, a pressão atmosférica não apresenta diferenças em altitude. Um modelo simples que prevê a diminuição da pressão atmosférica em altitude pode ser construído a partir da equação de estado, do princípio fundamental da hidrostática e do valor do gradiente vertical da temperatura.

Se introduzirmos a expressão (3.04) na equação da hidrostática

$$dp = -\rho g dz \quad (4.10)$$

resulta

$$dp = -\frac{p}{R_a T} g dz \Leftrightarrow \int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = \int_0^z -\frac{g}{R_a T} dz \quad (4.11)$$

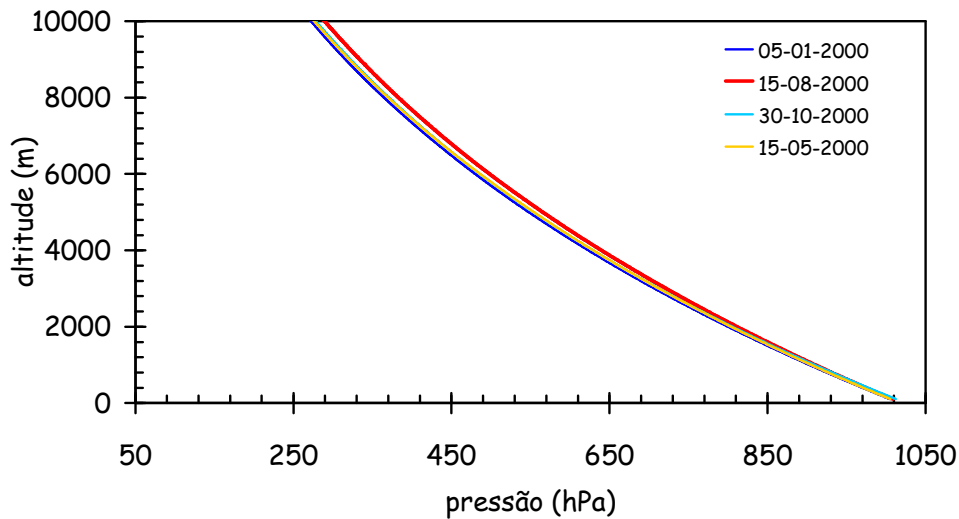


Figura 4.67 - Radiossondagens realizadas: pressão atmosférica em altitude

Como mostram, por exemplo McIntosh and Thom (1981) o gradiente vertical de temperatura,  $\Gamma$ , é próximo de  $7^\circ\text{C.km}^{-1}$  e a temperatura diminui em altitude através da expressão

$$T = T_0 - \Gamma z \quad (4.12)$$

A expressão (4.12) é muito importante porque dá a relação entre a temperatura e a altitude, quando se conhece o valor da temperatura do ar ao nível da superfície terrestre e o gradiente vertical de temperatura. Agora se a expressão (4.12) for introduzida na expressão (4.11) e se for feita a mudança de variável (para facilitar a integração), resulta na

expressão “modelo” que permite conhecer como a pressão diminui em altitude,

$$p = p_0 \left( 1 - \frac{\Gamma z}{T_0} \right)^{g/(R_0 \Gamma)} \quad (4.13)$$

Na Figura 4.68 mostram-se os dados registados na radiossondagem e a linha de ajuste (a partir do método dos mínimos desvios quadráticos) que determina o gradiente vertical de temperatura ( $7,5 \text{ }^\circ\text{C.km}^{-1}$ ).

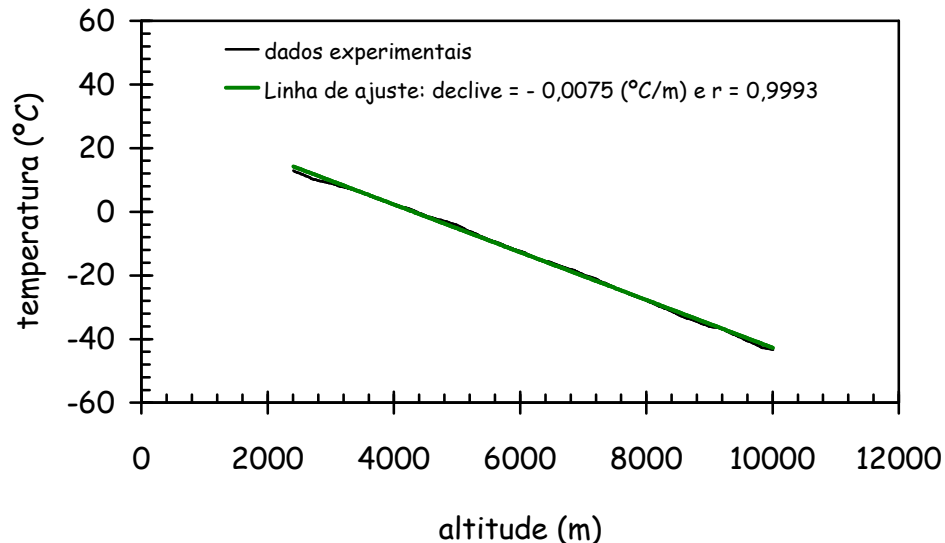


Figura 4.68 - Gradiente vertical da temperatura

Se os valores da pressão e da temperatura, ao nível da superfície terrestre, e do gradiente vertical de temperatura forem introduzidos na expressão (4.13), é possível obter a Figura 4.69.

A observação visual da Figura 4.69 mostra que o modelo usado apresenta um bom acordo em face dos valores registados.

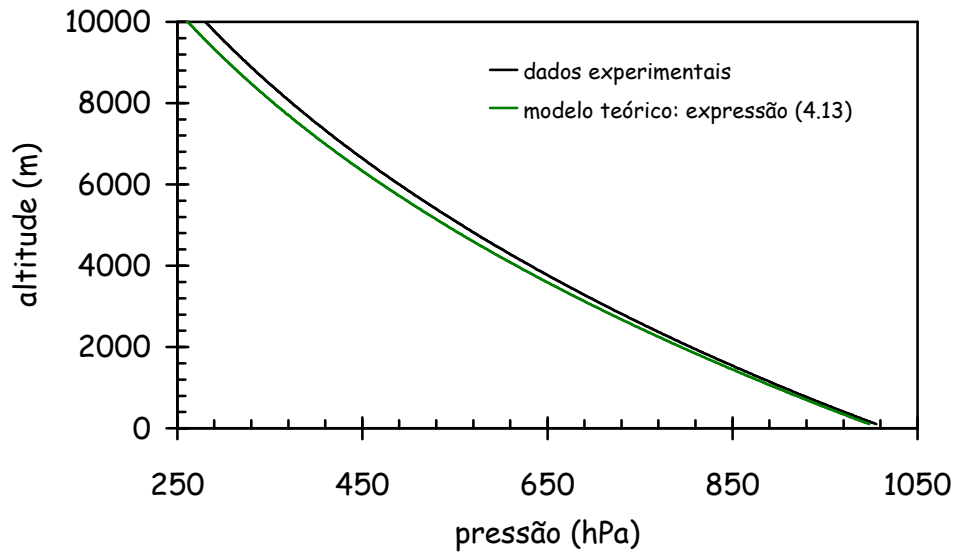


Figura 4.69 - Pressão atmosférica em altitude: valores registados e modelo (4.13)

Pensámos ainda na seguinte questão problema:

***Como se pode avaliar a base de uma nuvem para uma "parcela de ar" que ascende deste a superfície terrestre?***

Partimos dos dados registados à superfície de uma radiossondagem. A temperatura do ar, a temperatura do termómetro molhado, a humidade relativa do ar e a pressão são importantes para a análise que se segue. Deve lembrar-se que são valores que são registados também numa Estação Meteorológica Clássica. Nesta, normalmente são também registados valores da temperatura do ar, temperatura do termómetro molhado, humidade relativa do ar e pressão. É verdade que a temperatura do ar e temperatura do termómetro molhado permitem, através de tabelas ou diagramas psicrométricos, avaliar a humidade relativa do ar.

Se à superfície terrestre a humidade relativa é inferior a 100% o ar não está saturado, e a partir do "par" de valores da temperatura do



termómetro molhado e da pressão atmosférica, podemos conhecer a "linha" de saturação da "parcela de ar".

Também a partir do "par" de valores da temperatura do ar e da pressão atmosférica podemos conhecer a "linha" de ascensão da "parcela de ar" quando não está saturada.

Na atmosfera este processo é próximo de uma adiabática e por isso esta aproximação é válida até a "parcela de ar" se tornar saturada. Assim, o estudo da atmosfera não saturada pode ser feito a partir de um processo considerado adiabático em que este é considerado um sistema termodinamicamente equilibrado, variando a pressão e o volume sem receber nem ceder calor ao se deslocar.

Se considerarmos uma "parcela de ar" à superfície (nível isobárico é cerca de 1000 hPa), a partir do conhecimento da temperatura do ar e temperatura do termómetro molhado, ou da temperatura do ar e da temperatura do ponto de orvalho, facilmente se avalia a humidade relativa do ar. A pressão parcial de saturação está associada à temperatura do ar e a pressão parcial de vapor de água "actual" está associada à temperatura do ponto de orvalho. Nestes termos, facilmente se determina a razão de mistura do ar húmido em gramas de vapor de água por quilograma de ar seco.

É possível obter um parâmetro característico do ar denominado temperatura potencial que ilustra muito bem a ascensão na atmosfera de um "pacote de ar".

Foi há cerca de um século, que Poisson derivou uma equação para processos adiabáticos conhecida como equação de Poisson, e dada por

$$Tp^{-k} = C \quad (4.14)$$

em que

$$k = \frac{R}{c_p} \quad (4.15)$$

Na expressão (4.14)  $C$  representa uma constante. A relação entre a pressão e a temperatura permite a introdução de uma nova variável de estado que se conserva durante um processo adiabático denominada temperatura potencial e representada pela letra  $\theta$ .

A temperatura potencial  $\theta$  de um "pacote de ar" é a temperatura que resultaria de um processo de compressão ou expansão adiabaticamente reversível da partícula, inicialmente a uma temperatura  $T$  e a uma pressão  $p$ , até uma pressão standard (padrão)  $p_0$ , normalmente 1000hPa, sendo determinada a partir de

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (4.16)$$

De facto, sabe-se que para uma transformação adiabática,  $\delta q = 0$  e

$$\delta q = c_p dT - v dp \Leftrightarrow 0 = c_p dT - v dp \quad (4.17)$$

ou

$$c_p dT = v dp \quad (4.18)$$

A expressão (4.18) quando combinada com a equação de estado dos gases perfeitos (3.04) e reorganizada, permite obter

$$\left( \frac{c_p}{R} \right) \left( \frac{dT}{T} \right) = \left( \frac{dp}{p} \right) \quad (4.19)$$

que integrada entre os limites de integração  $(\theta, p_0)$  e  $(T, p)$  resulta na expressão (4.16).

Conforme já referimos, a temperatura potencial é um parâmetro extremamente útil na termodinâmica da atmosfera, visto os processos atmosféricos estarem muitas vezes muito próximos dos processos adiabáticos e portanto, a temperatura potencial permanece praticamente constante. A ilustração mostrada na Figura 4.70, indica as linhas de  $\theta$ ,  $p$  e  $T$ , em altitude, de um "pacote de ar" que ascende adiabaticamente na atmosfera.

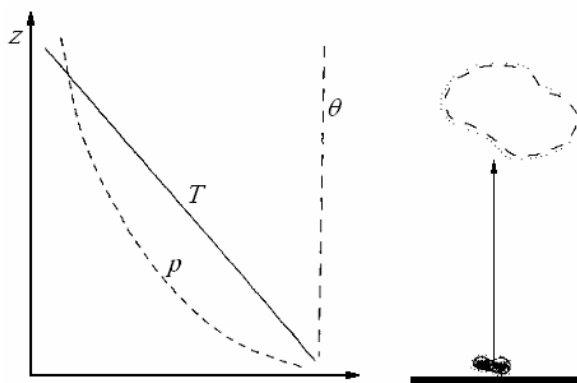


Figura 4.70 - "pacote de ar" a ascender adiabaticamente na atmosfera

O Instituto de Meteorologia usa um diagrama, denominados tefigrama, para estudar a termodinâmica da estrutura vertical da atmosfera.

Agora estamos em condições para responder à questão problema:

***Como se pode avaliar a base de uma nuvem para uma "parcela de ar" que ascende deste a superfície terrestre?***

O nível de condensação é o nível até ao qual um "pacote de ar", ar húmido, pode ascender adiabaticamente antes de atingir a saturação. Durante a ascensão do "pacote de ar" a razão de mistura do ar (actual) e a sua temperatura potencial permanecem constantes, enquanto que a razão de

mistura de saturação diminui (porque a temperatura do ar também diminui) até se tornar igual à razão de mistura, no nível de condensação.

Assim, o nível de condensação está localizado na intersecção da linha de temperatura potencial que passa pela temperatura e pressão do “pacote de ar” no ponto  $(p, T)$ , com a linha da razão de mistura que passa pela pressão e pela temperatura de ponto de orvalho da partícula de ar  $(p, T_d)$ .

A Figura 4.71 ilustra como se avalia a base de uma nuvem quando um “pacote de ar” é *obrigado* a ascender na atmosfera até ao nível de condensação (ou seja, quando a temperatura do ar iguala a temperatura do ponto de orvalho). Durante a ascensão o “pacote de ar” conserva a sua razão de mistura.

Na Figura 4.71, os valores para o “pacote de ar” à superfície são indicados: temperatura de 20 °C e uma temperatura do ponto de orvalho de 10,8 °C. A razão de mistura à temperatura do ponto de orvalho é de 8 g.kg<sup>-1</sup><sub>arseco</sub> e a razão de mistura de saturação à temperatura do ar é de 15 g.kg<sup>-1</sup><sub>arseco</sub>. Estes valores permitem determinar uma humidade relativa de cerca de 50%, mostrando que o “pacote de ar” não está saturado.

Como o “pacote de ar” não está saturada ascenderá adiabaticamente (com uma temperatura potencial constante de 20 °C) pela linha de cor “vermelha” até ao nível de 870 hPa ( $\cong$  1500 m) mantendo a razão de mistura em altitude, linha de cor “azul”, até à intersecção das duas linhas onde se regista o nível de condensação ou base da nuvem. Nesta situação a temperatura do ar iguala a temperatura do ponto de orvalho (em altitude), ou seja 8,6°C. A linha de cor “verde” indica a linha de saturação (onde o “pacote de ar” se movimenta). Se esta linha intersectar a linha de pressão à superfície ( $\cong$  1000 hPa) tem-se a temperatura do termómetro molhado ( $T_w = 14,5$  °C).

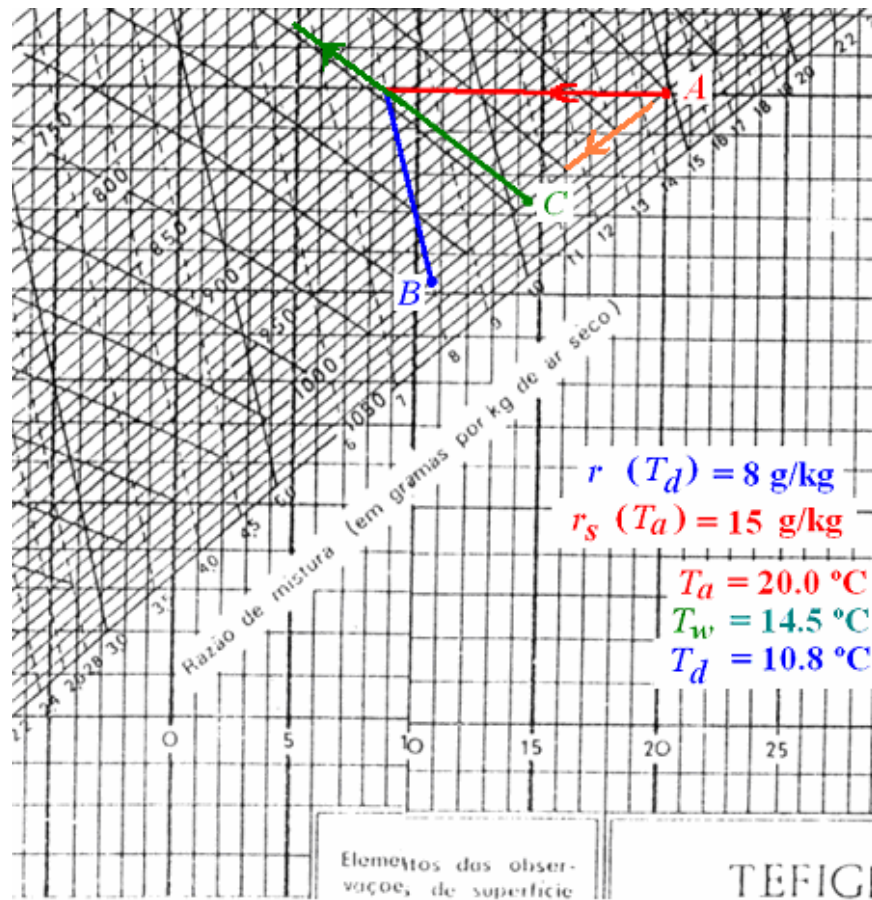


Figura 4.71 - "pacote de ar" a ascender na atmosfera

No nível de condensação é possível determinar a massa volúmica de vapor de água e de ar seco recorrendo às expressões

$$\rho_w = \frac{e_s}{R_w T_d} \quad (4.20)$$

$$\rho_a = \frac{e_s}{R_a T_a} \quad (4.21)$$

vindo para  $\rho_w = 8,6 \text{ g}_{\text{vapor}} \cdot \text{m}^{-3}$  e  $\rho_a = 1,08 \text{ kg}_{\text{ar\_seco}} \cdot \text{m}^{-3}$ . Estes valores confirmam que a razão de mistura de saturação (cociente entre a massa

volúmica do vapor de água e a massa volúmica do ar seco) no nível 870 hPa é de  $r_s \cong 8 \text{ g}_{\text{vapor de água}} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ar seco}}$ .

Se houver condições para o "pacote de ar" continuar a ascender, por exemplo até 800 hPa (agora o "pacote de ar" já está saturado), sobe segundo a linha de cor "verde") até ao nível isobárico de 800 hPa ( $\cong 2000 \text{ m}$ ). Assim, a temperatura diminui para cerca de  $5^\circ\text{C}$  e o vapor de água em excesso é condensado e formam-se gotículas de água. A massa de água destas gotículas por unidade de volume pode ser determinada pela diferença entre a massa volúmica registada no nível de condensação 870 hPa e a massa volúmica registada no nível de 800 hPa ou seja

$$\Delta\rho = \rho_{w_i} - \rho_{w_f} \cong 1,8 \text{ g}_{\text{vapor}} \cdot \text{m}^{-3} \quad (4.22)$$

ou

$$\Delta r = r_{s_i} - r_{s_f} \cong 1,2 \text{ g}_{\text{vapor de água}} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ar seco}} \quad (4.23)$$

É esta quantidade de vapor condensado que pode originar queda de gotas de água em forma de chuva. Na expressão (4.22) expressa em gramas de vapor por metro cúbico e na expressão (4.23) expressa em gramas de vapor por quilograma de ar seco.

Analogamente, o raciocínio considerado para o "pacote do ar" quando ascende na atmosfera, pode ser tomado para a formação de orvalho (à superfície terrestre). Nesta situação, o "pacote de ar" arrefece isobaricamente, como mostra a linha de cor "laranja" indicada na Figura 4.71. Quando a temperatura do ar registada for inferior à temperatura de ponto de orvalho (no nosso exemplo  $10,8^\circ\text{C}$ ) há condensação do vapor de água. Raciocínio análogo pode ser tido para a formação de nevoeiro e neblina que condicionam a transparência da atmosfera.

Muitos professores têm levado os seus alunos a assistir, na Universidade de Aveiro, ao lançamento de uma sonda meteorológica e algumas vezes, a Universidade ou o Instituto de Meteorologia têm deslocado algum equipamento para se realizar o lançamento de uma sonda na escola. São actividades experimentais de campo que mobilizam os alunos. Os alunos passam a entender como variam os parâmetros meteorológicos em altitude e como contribuem para o conhecimento da Tropopausa.

Assim, uma actividade experimental deste tipo permite uma familiarização acerca da recolha e utilização dos dados registados através de uma radiossondagem como instrumento pedagógico para o conhecimento da estrutura vertical da atmosfera e de alguns processos físicos que nela ocorrem.

Na figura 4.72 mostra-se como a temperatura do ar varia em altitude até cerca de 35km

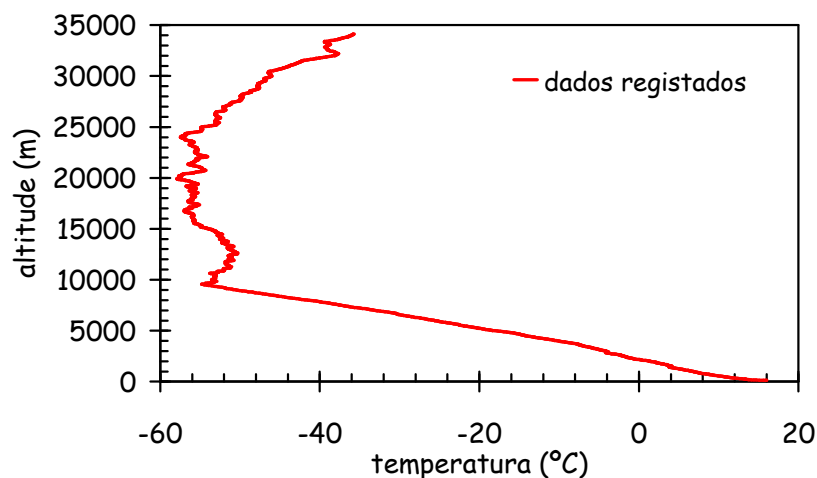


Figura 4.72 - temperatura em função da altitude

O estudo da ascensão de um “pacote de ar” na atmosfera permite uma melhor compreensão da mudança de fase que ocorre na formação e dissipação de uma gota de água.

A ligação estreita do funcionamento de uma estação meteorológica clássica e o lançamento de radiossondas, parece determinar um alicerce para se dinamizar elos de ligação entre escolas e criar uma cultura meteorológica na e para a escola.

#### **4.5. Um “pacote de ar”: dois momentos do dia (9 e 15 h)**

Um estudo interessante que pode ser desenvolvido em qualquer escola, usando instrumentos de medida simples, é saber como variam ao longo do dia alguns parâmetros meteorológicos.

Para esta análise consideramos dados registados na Estação Meteorológica Clássica da Universidade de Aveiro durante os meses de Janeiro, Maio, Agosto e Outubro de 1991. A escolha deste ano deve-se à disponibilidade de dados registados às 9 horas e 15 horas da tarde. É bom afirmar que os dados nesta estação meteorológica só durante algum tempo foram recolhidos nos dois horários. De facto, por questões orçamentais, passou a fazer-se apenas uma colecta de dados diários às 9 ou 10 horas, em função da altura do Sol durante o ano. Outra decisão que levou ao ano 1991 teve a ver com informação adicional que as folhas de registo dispunham, nomeadamente visibilidade horizontal, nebulosidade, insolação, precipitação e dias de precipitação. Mesmo considerando este cuidado, a observação das folhas de registo indicava ausência de muitas observações durante a tarde, que são notadas nos gráficos que se apresentam adiante.

As Figuras 4.73 à 4.76 mostram como varia a temperatura ao longo dos dias de cada mês. Por opção e para uma melhor leitura, considerou-se uma linha de cor “laranja” para a temperatura do ar às 9 horas, uma linha de cor



“azul” para a temperatura do termómetro molhado às 9 horas, uma linha de cor “vermelha” para a temperatura do ar às 15 horas e uma linha de cor “azul claro” para a temperatura do termómetro molhado às 15 horas.

Como seria esperado, a temperatura do ar às 15 horas é superior à temperatura do ar às 9 horas (tem a ver com o ciclo diurno da radiação solar).

Uma análise pode ser também feita a partir dos dados da humidade relativa do ar (que é determinada a partir dos dados da temperatura do ar e temperatura do termómetro molhado).

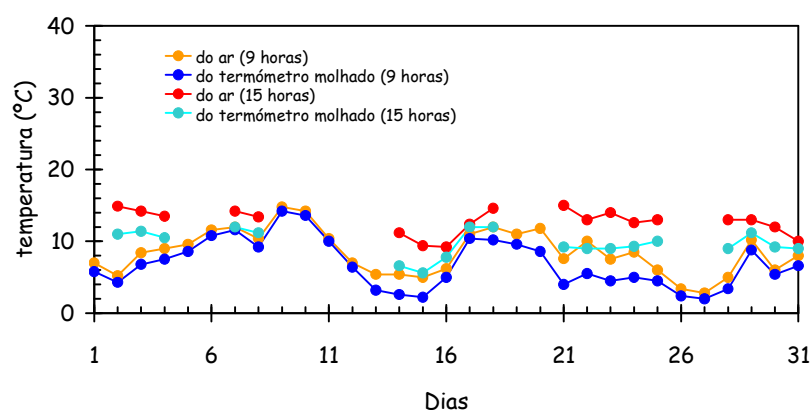


Figura 4.73 - Mês de Janeiro: temperatura do ar e do termómetro molhado

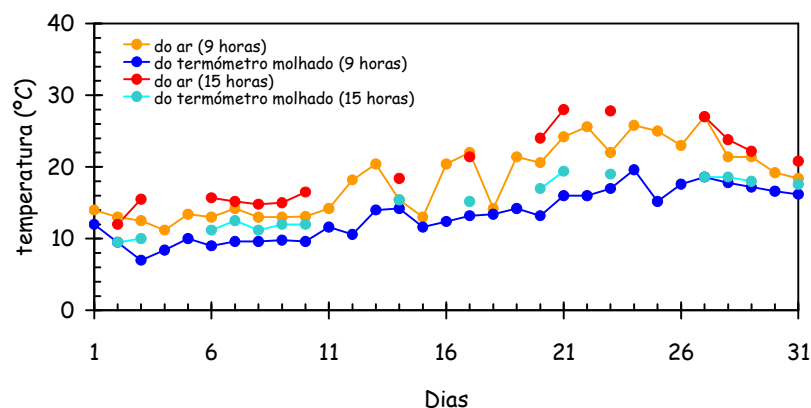


Figura 4.74 - Mês de Maio: temperatura do ar e do termómetro molhado

As Figura 4.77 à 4.80 indicam como a humidade relativa se apresentava, no momento da observação feita pelo observador meteorológico, ao longo dos mesmos meses. A linha de cor "vermelha" indica a humidade relativa às 9 horas e a linha de cor "azul" a humidade relativa às 15 horas.

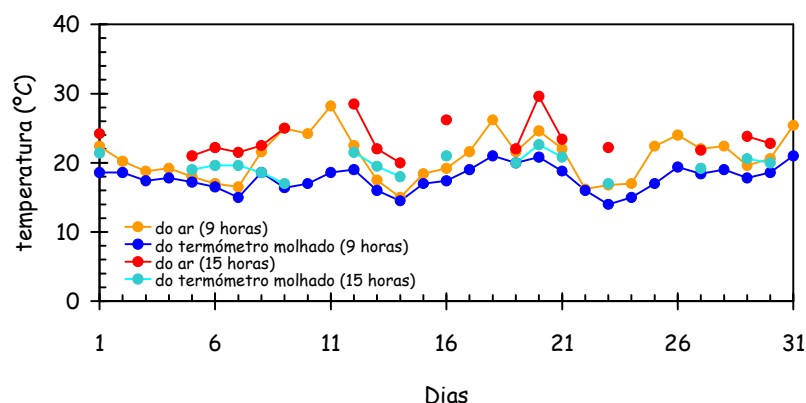


Figura 4.75 - Mês de Agosto: temperatura do ar e do termómetro molhado

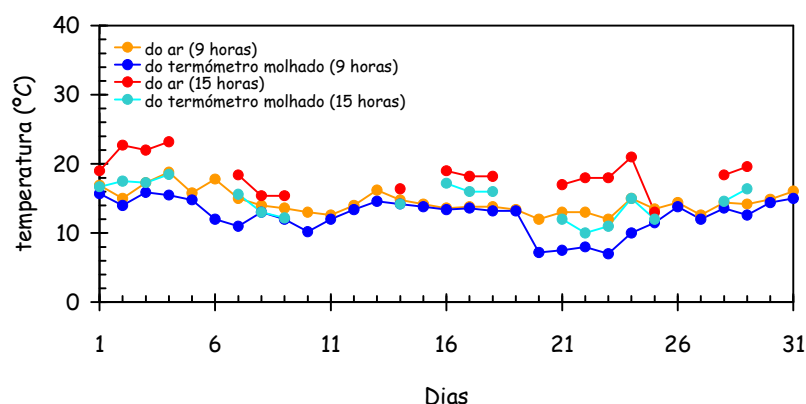


Figura 4.76 - Mês de Outubro: temperatura do ar e do termómetro molhado

Uma linha de cor "verde" também é indicada em cada figura. Esta linha está relacionada à seguinte questão problema:

*Se o "pacote de ar" às 9 horas fosse confinado a uma parede invisível que não permitisse haver trocas com o exterior, ou seja se a*

***temperatura do ponto de orvalho fosse constante, qual seria a humidade relativa do ar às 15 horas devido ao aumento da temperatura do ar?***

Neste caso, por definição de humidade relativa do ar, estamos apenas a variar a pressão de saturação à temperatura registada às 15 horas (mantendo a pressão parcial de vapor de água à temperatura do ponto de orvalho).

Como seria de esperar, dado a temperatura do ar às 15 horas ser superior à temperatura do ar às 9 horas, a humidade relativa do ar é inferior. Este resultado é mostrado nas Figura 4.77 à 4.80. A diferença entre as linhas de cor "azul" e "verde" é devida ao facto do "pacote de ar" que foi observado às 9 horas não ser o mesmo que é observado às 15 horas.

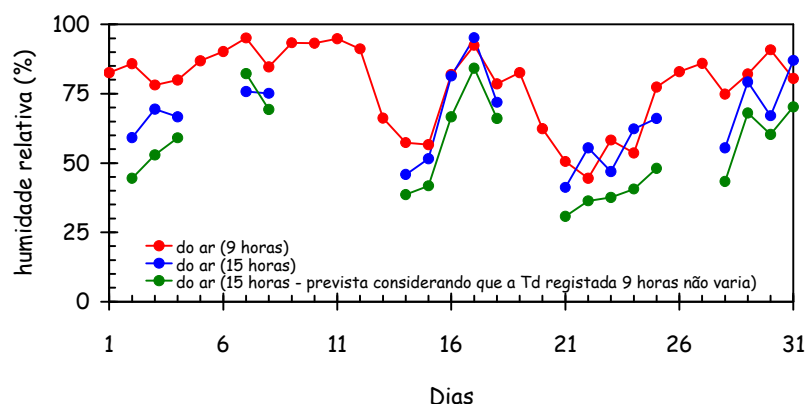


Figura 4.77 - Mês de Janeiro: humidade relativa do ar

As diferenças encontradas nas Figuras 4.73 à 4.80 têm a ver com as condições atmosféricas de cada mês, indicadas na Tabela 4.01. As colunas da tabela devem ser lidas do seguinte modo: *T* - representa a temperatura média do ar, *v* - a velocidade média do vento, *prec* - a precipitação total, *dias* - os dias em que ocorreu precipitação, *evap* - a evaporação total, *N* - a nebulosidade, *vis* - a visibilidade horizontal e *I* - o número de horas de Sol.

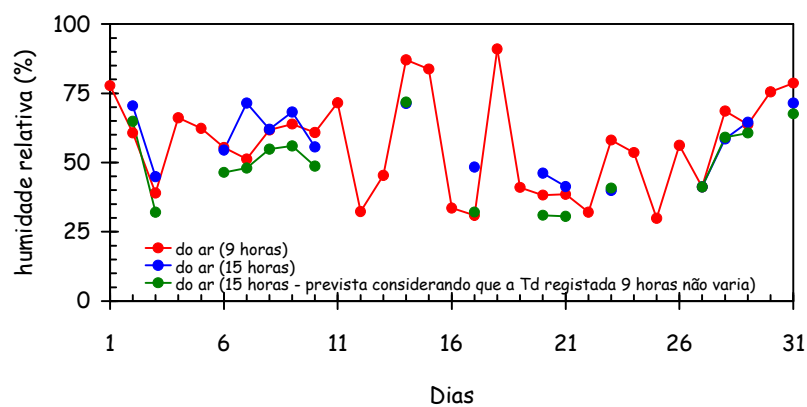


Figura 4.78 - Mês de Maio: humidade relativa do ar

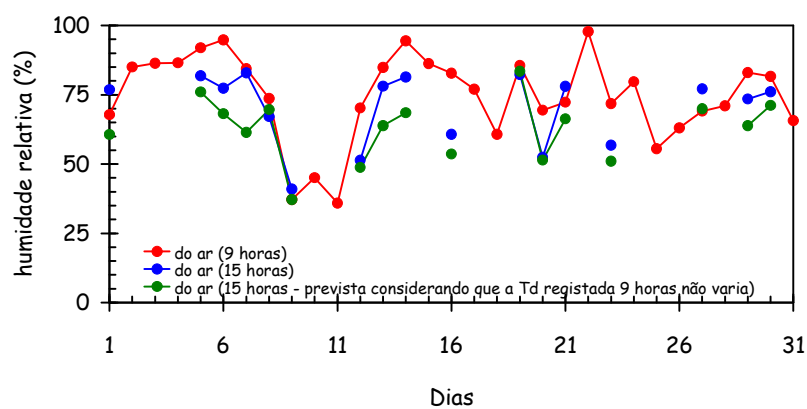


Figura 4.79 - Mês de Agosto: humidade relativa do ar

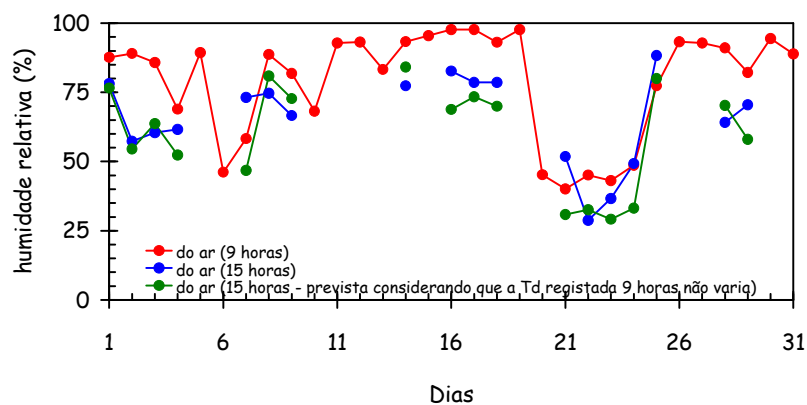


Figura 4.80 - Mês de Outubro: humidade relativa do ar

A Tabela 4.01 indica que durante o mês de Maio nenhum dia registou precipitação. Os altos valores de humidade relativa do ar registados durante Agosto estão relacionados com a precipitação. A tabela também mostra coerência entre as leituras da nebulosidade, visibilidade horizontal e número de horas de Sol.

Tabela 4.01 – Valores registados na Estação Meteorológica Clássica

	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>prec</i>	<i>dias</i>	<i>evap</i>	<i>N</i>	<i>vis</i>	<i>I</i>
	°C	km/h	mm	-	mm	0-8	km	h
Janeiro	10,2	8,1	123,9	14	52,3	5,1	5,8	4,4
Maio	17,2	13,2	0,0	0	155,8	2,5	6,5	7,7
Agosto	22,1	10,5	7,2	6	91,0	4,6	3,4	7,9
Outubro	15,5	8,6	121,8	13	54,1	5,8	3,6	5,4

Em conclusão, podemos afirmar que esta actividade pode ser desenvolvida quando da leccionação da unidade temática “Mudança Global” leccionada no 8º ano de escolaridade (Ana Augusto e Mário Talaia, 2008). A Escola pode ter uma Estação Meteorológica Clássica com instrumentos simples construídos com materiais de fácil acesso e baixo custo. A visibilidade horizontal e a nebulosidade são avaliadas a partir da extensão dos órgãos sensoriais.

#### 4.6. Balanço da coluna de água (precipitação/evaporação)

É do conhecimento geral que uma das preocupações da sociedade é a problemática das “Mudanças Climáticas”. O IPCC (2001a; 2001b; 2007) tem disponibilizado muita informação e tem focalizado muita da investigação nas consequências do efeito de estufa. É sabido, também, que os combustíveis fósseis, os gases com efeito de estufa, o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, o aumento da temperatura do ar e a subida do nível médios das águas estão

relacionados. Há mudanças visíveis nos ecossistemas. Os fenómenos atmosféricos considerados de "extremos" estão a surgir com mais frequência. A desertificação e as inundações pairam no "horizonte" de muitas regiões. A vida está em jogo. *Até onde pode ir o patamar de tolerância dos seres vivos?* De facto, o balanço térmico do nosso corpo está condicionado com a capacidade da "transpiração", ou seja a existência de suor na superfície exterior da nossa pele pode regular a temperatura do nosso corpo.

Neste contexto, parece-nos interessante colocar a seguinte questão problema:

*Consideremos duas colunas onde numa se mede a evaporação e noutra a precipitação. A diferença entre a altura das duas colunas permite conhecer a coluna de água "perdida" ou "ganha", durante um determinado tempo. Se tivermos registos da tina evaporimétrica e do udómetro da região de Aveiro, para uma série de anos, que conclusões se podem tirar?*

A análise que se segue partiu do conhecimento dos dados registados no udómetro e na tina evaporimétrica localizados na Estação Meteorológica Clássica da Universidade de Aveiro. Numa fase inicial criou-se uma folha de cálculo dos dados disponíveis para uma série de 22 anos (de 1982 a 2003).

Os dados acumulados por ano são indicados na Figura 4.81. A observação visual da figura sugere que há um défice de coluna de água entre 1988 e 1996/8. A partir de 1999 os valores registados no udómetro são superiores aos da tina evaporimétrica, o que indica um excesso de coluna de água.

Na Figura 4.82 mostram-se os valores acumulados de cada mês e para a série de 22 anos.

Como era esperado e tendo por base as colunas indicadas na Figura 4.82 as colunas referentes à evaporação seguem muito de perto os valores médios mensais da temperatura do ar. De facto, há uma boa correlação entre a evaporação registada na tina evaporimétrica e a temperatura do ar, o que indicia uma maior evaporação quando a temperatura do ar é mais elevada.

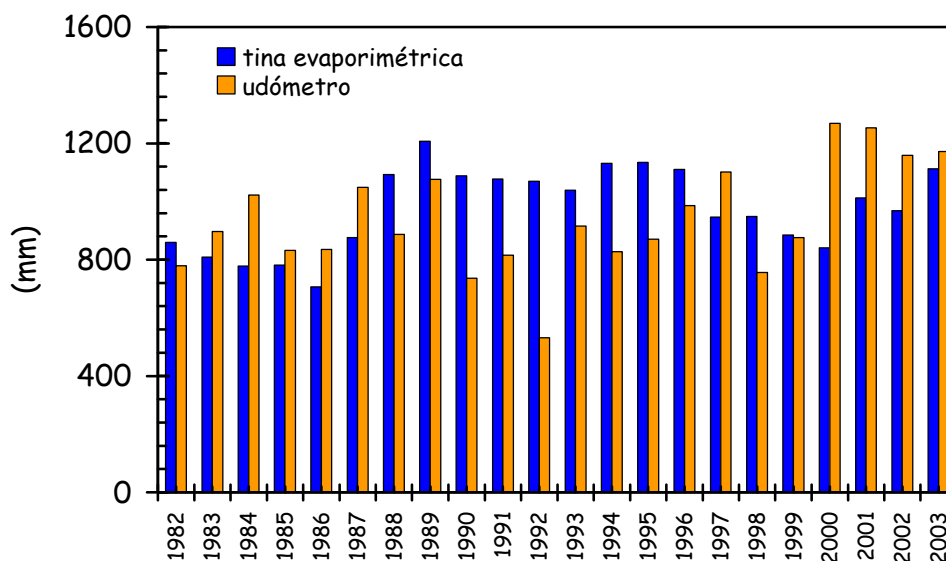


Figura 4.81 - Evaporação e precipitação entre 1982 e 2003

A Figura 4.83 indica a evolução da coluna de água acumulada. Cada ponto corresponde ao valor acumulado para os anos anteriores. O último ponto ou seja o ponto mais à direita do gráfico da figura indica os valores acumulados para os 22 anos. A linha de cor "verde" indica a recta teórica de declive unitário (para valores iguais acumulados de evaporação e precipitação).

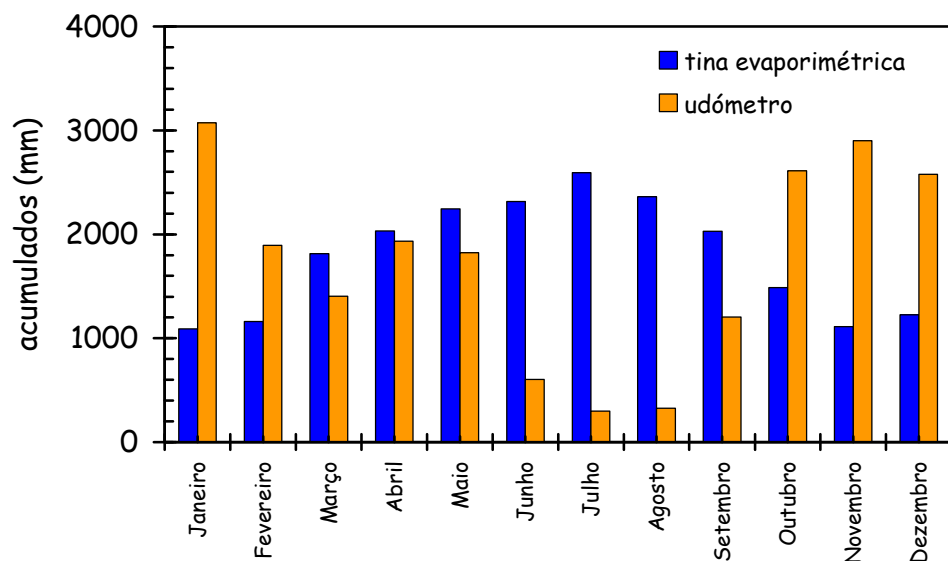


Figura 4.82 - Evaporação e precipitação acumulada da série

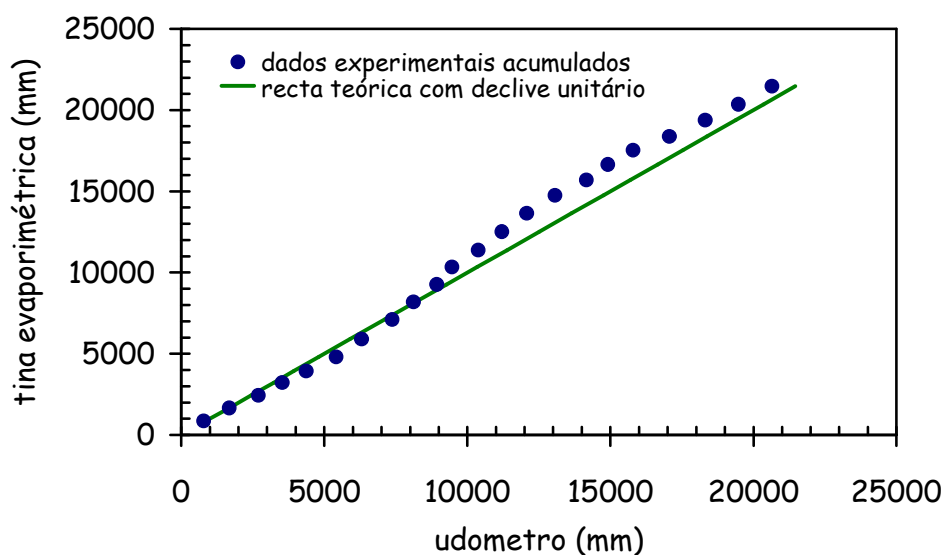


Figura 4.83 - Evaporação e precipitação acumuladas ao longo da série de anos

A observação da Figura 4.83 mostra que de 1982 até 1991 a coluna de água é considerada em equilíbrio. A partir de 1991 até 1995 sofre um desvio por defeito de coluna de água, isto é, há mais evaporação do que



precipitação. De 1995 até 1999 mantém este desvio sistemático. Depois de 1999 até 2003 há uma recuperação lenta da coluna de água.

A série de 22 anos permite obter, no final do período, um valor por excesso de evaporação de cerca de 850 mm o que corresponde a 11 meses ou seja cerca de um ano de precipitação.

Concluimos que a região de Aveiro para análise efectuada (série de 1982 a 2003) perdeu uma coluna de água de cerca de 850 mm. No entanto, apenas com base nesta actividade, não se pode apontar qualquer situação de desertificação futura.



## 5. Oficina pedagógica



## Oficina pedagógica

Conforme já referido a investigadora e professora não teve o privilégio de implementar as actividades experimentais em contexto de sala de aula e através de actividades exteriores à sala de aula.

Tendo por base esta limitação tentou-se através da realização de uma Oficina Pedagógica implementar experiências simples para o estudo do ar húmido.

Assim, foi proposta e aceite pelo comité científico do XIX Congresso de ENCIGA uma Oficina Pedagógica para professores que se realizou na Povia do Varzim, na Escola Secundaria Eça de Queirós (Mário Talaia *et al.*, 2006).

Os presentes, conforme indica a Figura 5.1, mostraram estar muito interessados e atentos. Seriam construídos pelos participantes diversos instrumentos simples de medida (da meteorologia).



Figura 5.1 - Oficina Pedagógica realizada no XIX congresso de ENCIGA

As Figuras 5.2 e 5.3 mostram fases dos trabalhos. As dificuldades dos presentes em construir correctamente os instrumentos criaram uma grande troca de ideias. Damos o exemplo de uma questão: *Como construir um termómetro molhado e como se regista a humidade relativa do ar? O que se pode fazer com o resultado obtido?*



Figura 5.2 - Uma fase dos trabalhos



Figura 5.3 - Fase de construção de um psicrómetro

Na Figura 5.4 é visível a entrega dos colegas presentes e do interesse em fazer boas observações (evitando erros de paralaxe).



Figura 5.4 - Observação da temperatura (termómetro seco e molhado)

Foram desenvolvidas competências na manipulação da alteração do ar húmido. Para o efeito foram usados secadores de cabelo. Os presentes reconheceram que a intensidade do vento condiciona o valor da temperatura do termómetro molhado e da humidade relativa do ar.

No final da Oficina Pedagógica houve elogios acerca do seu funcionamento e na forma como foram conduzidos os trabalhos. Todos reconheceram a importância de terem estado presentes.

Concluimos que mesmo não tendo sido caracterizada a amostra de colegas presentes e avaliada a Oficina Pedagógica, os resultados foram animadores e encorajaram no sentido de suscitar novas oportunidades.





## **6. Considerações finais e perspectivas futuras**







### **Considerações finais e perspectivas futuras**

Antes de escrever algo sobre as “considerações finais e perspectivas futuras” não posso deixar de afirmar que esta dissertação é uma base de construção de conhecimento que eu gostaria de ter lido. Por isso, humildemente, considero que a escolha desta temática preencheu muitos dos meus objectivos e criou em mim uma cultura “meteorológica”, que abrigará a minha carreira como professora, sempre que necessário e oportuna.

Com a elaboração desta dissertação penso ter conseguido compreender que a atmosfera, em especial a Troposfera, é um Laboratório a céu aberto à disposição de todos os que a queiram aproveitar.

Este Laboratório é um instrumento precioso para o professor que queira “ensinar ciência”, em geral, e conteúdos relacionados com a “Atmosfera”, em particular. As temáticas podem ser abordadas com base na estação meteorológica e na radiossondagem, o que implica sair da sala de aula e entrar em contacto com o meio ambiente, motivando o aluno para a ciência (esta atitude já têm muitos colegas por trazerem os seus alunos à Estação Meteorológica da Universidade de Aveiro). Proporciona ainda o estudo, obtenção e a manipulação das variáveis que condicionam o estado do tempo e o clima, que é, no momento uma das principais preocupações mundiais, chamando a atenção dos alunos para a problemática das alterações climáticas que tanta “tinta” têm feito correr nos meios de comunicação.

O trabalho desenvolvido permite uma familiarização com instrumentos de medida usados para medir parâmetros meteorológicos, que são alguns dos objectivos da unidade temática “Mudança Global”, leccionada no ensino básico, no 8º ano de escolaridade.

O método usado para estimar a evaporação de uma superfície livre de água contida numa tina evaporimétrica permite uma estratégia de Ensino Por Pesquisa. Este método condiciona alguns dos aspectos que são estudados no tema da Unidade 1 da Física do 10º ano.

É ainda feito um estudo que permite avaliar a coluna de água "ganha ou perdida" de uma região, factor de extrema importância que preocupa a sociedade e os meios políticos, em particular o sector de actividade agrícola. Permite ainda o desenvolvimento de estratégias que visam a transformação do conhecimento comum, em conhecimento científico, pois "provam-se", através da manipulação de dados meteorológicos, ideias do senso comum.

Não se pode deixar de salientar que uma estratégia deste tipo estimula o interesse, a curiosidade e o apreço pelo estudo dos fenómenos naturais e pela interpretação dos dados experimentais observados, familiariza os alunos com métodos, processos de trabalho e formas de pensar, proporciona a aquisição de conhecimentos que ajude os estudantes a serem capazes de compreender problemas científicos e tecnológicos (CTS-A) e contribui para a reflexão sobre a importância de saberem discutir e interpretar dados observados e registados criteriosamente.

Uma vez que estas temáticas não são abordada ao longo do curso de formação dos professores, esta dissertação pode ser a base de apoio para abordar estas temáticas, que tanto interessam à sociedade e aos nossos alunos, ficando muitas vezes para traz (não leccionada) por receio ou falta de convicção.

Gostaria de ter trabalhado, algumas das actividades, em contexto de sala de aula e através de *actividades exteriores à sala de aula* (esta limitação deveu-se basicamente ao facto da investigadora e professora, não estar a leccionar em Escola).

Por fim, como investigadora e professora não posso deixar de referir que esta dissertação foi um alicerce importante para a minha formação. Não considero o fim de uma etapa mas o início de uma nova forma de olhar para a Atmosfera como um Laboratório a ser explorado em sala de aula.

No futuro, penso usar as actividades, aqui propostas e desenvolvidas, em sala de aula e em actividades exteriores à sala de aula; criar um Clube de Ciência de modo a ajudar os alunos a cultivarem respeito pelo ambiente; dinamizar Oficinas Pedagógicas para colegas de profissão (chamo a atenção, que a oficina pedagógica realizada, mesmo sendo considerada redutora, despertou também o interesse de professores de áreas transversais, como a Matemática, a Biologia e a Geografia).

Adicionalmente, a minha meta futura passará por continuar a desenvolver competências numa temática que tanto me apaixona, na divulgação da minha experiência no planeamento e construção de equipamento de medida simples e de baixo custo e na avaliação da sua utilização. Sou de opinião que não é necessário equipamento "sofisticado" e dispendioso para se desenvolverem e implementarem actividades capazes de contextualizar alguns conteúdos numa abordagem CTS-A.





## **Bibliografia**





## Bibliografia

Ana Augusto e Mário Talaia (2008). *Parâmetros meteorológicos numa dimensão CTS*. Actas do V Seminário Ibérico / I Seminário Ibero-americano. Ciência-Tecnologia-Sociedade no Ensino das Ciências. Educação Científica e Desenvolvimento Sustentável. Coordenação Vieira *et al.* Tema 5 - Integração de conteúdos CTS nos currículos e recursos didácticos / Integración de contenidos CTS en los currículos y recursos didácticos. 269-273.

Ana Coelho Augusto e Mário Talaia (2007). *Calor de transformação na atmosfera*. In actas II Congreso Internacional Enerxía e desenvolvemento sostible. CD-Rom Depósito legal C2344-2007. Paper: calordetransformaçõnaatmosfera.pdf, 9 paginas.

Ana Coelho Augusto e Mário Talaia (2008). *Calor de transformação na atmosfera*. Educación Enerxética, Enerxías Renovables e Cambio Climático. Bloque I: Educación Enerxética e Desenvolvemento Sostible. In Colección: Informes e Propostas n.º 20. Instituto de Ciencias da Educación. Rodrigues, J.M. e Domínguez, M.A.F. (Eds.). Universidade de Santiago de Compostela, 59-68.

Brazão, M.M. (1996). Concepções Curriculares dos Professores e Decisões sobre o Currículo Formal. *Revista de Educação*, VI (1), 43-62.

Caamãno, A. (1995). La Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad: Una Necesidad en el Diseño del Nuevo Currículum de Ciencias. *Alambique*, 3, 4-6.



Cachapuz, A., Praia, J. e Jorge, M. (2002). *Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências*. Ministério da Educação, Lisboa.

Cachapuz, A. F. (2000). *Epistemologia e Ensino das Ciências no Pós Mudança Conceptual: análise de um percurso de pesquisa*. Universidade de Aveiro: Aveiro.

Cachapuz, A. e Praia, J.F. (1992). *Na Analysis of the Conceptions about the Nature of Scientific Knowledge of Portuguese Secondary Science Teachers*. Comunicação apresentada ao Annual NARST Meeting, Boston.

Cachapuz, A., Malaquias, I., Martins, I.P., Pedrosa, M., Loureiro, M., Thomaz, M.F., Costa, N. (1991). *Problemática das Concepções Alternativas na Formação Inicial dos Professores de Física e Química*. Actas do 2º Encontro Nacional de Didácticas e Metodologias de Ensino. Universidade de Aveiro, 173-182.

Dunne, T. and Leopold, L.B. (1978). *Water in Environmental Planning*. ISBN 0-7167-0079-4, W.H. Freeman and Company, San Francisco.

Costa A, Maria Costa, A., Moisés, A. e Caeiro, F., (2003). *Manual escolar Ver + Física 10º Ano*. Plátano Editora, ISBN 972-770-185-X.

Fernandéz González, J. e Elortegui Escartín, N. (1997). Qué Piensan los Profesores Acerca de Cómo se Debe Enseñar. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (3), 331-342.

Freire, A.M. (1991). *Contributo para uma tipologia de concepções de ensino de Física*. Tese de mestrado (não publicada). Universidade de Lisboa, Lisboa.

Gallagher, J.J. (1991). Prospective and Practicing Secondary School Science Teacher's Knowledge and Beliefs about the Philosophy of Science. *Science Education*, 75 (1), 121-133.

Gelabert, J.M. (1984): *Evaporación en embalses*, Secretaria General Técnica, Madrid, pp. 139

Gil-Pérez, D. (1996). New Trends in Science Education. *International Journal of Science Education*, 18 (8), 889-901.

IPCC (2001a). *Intergovernmental Pannel on climate change Technical Summary*. A Report Accepted by Working Group I, wgI\_ts.pdf., <http://www.ipcc.ch/pub/wg1TARtechsum.pdf>.

IPCC (2001b). *Technical Summary, Climate, Adaptation and Vulnerability*. A Report of Working Group II of Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Suíça.

IPCC (2007). *Climate change 2007: the physical science basis summary for policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris: IPCC, Working Group I.

Iribarne, J.V. and Cho, H.R. (1980). *Atmospheric physics*. R. Reidel Publishing Company. Dordrecht.

IQbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press. Ontário.

Leite, L. (2001). *Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências*. In Cetano, H. & Santos, G. (Org). *Cadernos Didácticos de Ciências*. Lisboa: Departamento de Educação

Lencastre, A. e Franco, F.M. (1992). *Lições de Hidrologia*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Maciel, N., Gradim, M.M. e Campante, M.J. (2003). *Eu e a Física - 10º Ano*. Porto Editora,

Mário Talaia e Ana Coelho (2006). *A evaporação da água numa perspectiva de ciclo hidrológico*. Actas do XIX Congresso ENCIGA. Proceedings do XIX Congresso ENCIGA. Póvoa do Varzim. CDROM ISBN: 0214-7807, artigo: 8 páginas. Boletim 61: [http://www.enciga.org/boletim/61/a\\_evaporacao\\_da\\_agua\\_numa\\_perspectiva\\_de\\_ciclo\\_hidrologico.pdf](http://www.enciga.org/boletim/61/a_evaporacao_da_agua_numa_perspectiva_de_ciclo_hidrologico.pdf)

Mário Talaia, Ana Coelho e Marta Silva (2006). *Conhecer a atmosfera a partir de experiências simples*. Actas do XIX Congresso ENCIGA. Workshop, Póvoa do Varzim, de 23 a 25 de Novembro, 33-4.

Mário Talaia e Ana Coelho Augusto (2007a). *O processo da evaporação numa actividade simples*. In actas II Congreso Internacional Educación, Enerxia e Desenvolvemento Sostible. CD-Rom Depósito legal C2344-2007. Paper: [oprocesso da evaporação numa actividade simples.pdf](#), 7 páginas.

Mário Talaia e Ana Coelho (2007b). *A estimativa da evaporação da água através do balanço energético: caso da região de Aveiro*. Proceedings of the 5º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG e 8º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia. Instituto de Meteorologia, Lisboa, ISBN 978-989-95660-0-2, 217-221.

Mário Talaia e Ana Coelho Augusto, 2008. *O processo da evaporação numa actividade simples*. Educación Enerxética, Enerxías Renovables e Cambio Climático. In Colección: Informes e Propostas n.º 20. Instituto de Ciencias da Educación. Rodrigues, J.M. e Domínguez, M.A.F. (Eds.). Universidade de Santiago de Compostela, 235-241.

Martins, I.P. (1999). *Literacia Científica: dos Mitos às Propostas*. Conferência Plenária convidada no VII Encontro Nacional de Educação em Ciências, Faro: Escola Superior de Educação, Universidade do Algarve.

McIntosh, D. H. and Thom, A. S. (1981). *Essentials of meteorology*. The Wykeham Sciences Series. Taylor and Francis, Ltd, London.

Miller, J.D. (1994). *Scientific Literacy: Na Updated Conceptual and Empirical Review*. O Futuro da Cultura Científica. Lisboa: Instituto da Prospectiva, 37-57.

National Geograph (2004). *Strange Days on Planet Earth - The One Degree Factor*. Vulcan Productions, Inc. registration number 704/05.

Neto, A.J. (1995) *Contributos para uma nova didáctica de resolução de problemas: um estudo de orientação metacognitiva em aulas de Física do ensino secundário*. Universidade de Évora, Évora.

Praia, J.F. (2000). *Educação em Ciência: Uma reflexão epistemológico-didáctica*. Actas do VIII Encontro Nacional de Educação em Ciência. Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 2 a 4 de Novembro.

UNESCO (2005). *Draft International implementation scheme for the United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014)*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001403/140372e.pdf> .

Varejão, M. (2005). *Meteorologia e Climatologia*. 2ª Edição, INMET. Brasília.

## **WWW**

[http://www.igc.usp.br/geologia/aguas\\_subterraneas.php](http://www.igc.usp.br/geologia/aguas_subterraneas.php)

<http://sitio.dgfdc.min->

[edu.pt/basico/Paginas/Programas\\_OrientacesCurriculares\\_3CFN.aspx](http://edu.pt/basico/Paginas/Programas_OrientacesCurriculares_3CFN.aspx)

<http://sitio.dgfdc.min->

[edu.pt/secundario/Paginas/Programas\\_ES\\_F.aspx](http://edu.pt/secundario/Paginas/Programas_ES_F.aspx)



## **Anexos**





## Anexo 1

Tabela A.1 - Pressão de saturação do vapor de água em relação a uma superfície plana de água pura (Varejão, 2005)

Pressão de saturação do vapor de água em relação a uma superfície plana de água pura										
Temperatura	$T(^{\circ}\text{C})$					$T(^{\circ}\text{C})$				
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8
-15	1,9118	1,8805	1,8496	1,8191	1,7892	20	23,3729	23,6641	23,9583	24,2559
-14	2,0755	2,0410	2,0005	1,9750	1,9435	21	24,8605	25,1678	25,4783	25,7922
-13	2,2515	2,2153	2,1795	2,1444	2,1097	22	26,4302	26,7543	27,0819	27,4130
-12	2,4409	2,4019	2,3635	2,3256	2,2883	23	28,0858	28,4277	28,7730	29,1221
-11	2,6443	2,6024	2,5612	2,5205	2,4804	24	29,8314	30,1916	30,5556	30,9235
-10	2,8627	2,8178	2,7735	2,7298	2,6868	25	31,6708	32,0504	32,4339	32,8214
-9	3,0971	3,0489	3,0013	2,9544	2,9082	26	33,6085	34,0082	34,4120	34,8200
-8	3,3484	3,2967	3,2457	3,1955	3,1459	27	35,6486	36,0694	36,4944	36,9239
-7	3,6177	3,5623	3,5077	3,4539	3,4008	28	37,7959	38,2386	38,6858	39,1376
-6	3,9061	3,8469	3,7884	3,7307	3,6738	29	40,0548	40,5205	40,9908	41,4659
-5	4,2149	4,1514	4,0888	4,0271	3,9662	30	42,4304	42,9199	43,4142	43,9136
-4	4,5451	4,4773	4,4103	4,3443	4,2791	31	44,9273	45,4419	45,9613	46,4861
-3	4,8981	4,8256	4,7541	4,6835	4,6138	32	47,5511	48,0916	48,6373	49,1884
-2	5,2753	5,1979	5,1214	5,0460	4,9716	33	50,3069	50,8744	51,4473	52,0260
-1	5,6780	5,5953	5,5138	5,4332	5,3537	34	53,2001	53,7958	54,3971	55,0045
0	6,1078	6,0190	5,9325	5,8466	5,7617	35	56,2365	56,8616	57,4925	58,1296
+0	6,1078	6,1971	6,2876	6,3793	6,4721	36	59,4220	60,0775	60,7392	61,4073
1	6,5662	6,6614	6,7579	6,8556	6,9545	37	62,7625	63,4498	64,1435	64,8438
2	7,0547	7,1563	7,2590	7,3631	7,4685	38	66,2643	66,9845	67,7115	68,4454
3	7,5753	7,6834	7,7928	7,9036	8,0158	39	69,9336	70,6883	71,4498	72,2186
4	8,1295	8,2445	8,3610	8,4789	8,5983	40	73,7774	74,5677	75,3652	76,1701
5	8,7192	8,8416	8,9655	9,0909	9,2179	41	77,8021	78,6295	79,4644	80,3069
6	9,3465	9,4766	9,6083	9,7417	9,8766	42	82,0150	82,8809	83,7543	84,6360
7	10,0132	10,1515	10,2915	10,4331	10,5765	43	86,4231	87,3288	88,2426	89,1647
8	10,7216	10,8685	11,0171	11,1676	11,3198	44	91,0337	91,9811	92,9364	93,9007
9	11,4739	11,6298	11,7876	11,9472	12,1088	45	95,8548	96,8449	97,8438	98,8515
10	12,2723	12,4377	12,6051	12,7745	12,9458	46	100,8940	101,9280	102,9720	104,0250
11	13,1192	13,2946	13,4721	13,6517	13,8334	47	106,1590	107,2400	108,3300	109,4300
12	14,0172	14,2031	14,3912	14,5815	14,7740	48	111,6590	112,7670	113,8860	115,0140
13	14,9688	15,1658	15,3650	15,5666	15,7705	49	117,4010	118,5800	119,7680	120,9670
14	15,9767	16,1853	16,3963	16,6097	16,8255	50	123,3950	124,6250	125,8650	127,1160
15	17,0438	17,2646	17,4878	17,7136	17,9420	51	129,6500	130,9330	132,2270	133,5310
16	18,1730	18,4065	18,6427	18,8815	19,1230	52	136,1740	137,5120	138,8610	140,2220
17	19,3672	19,6142	19,8639	20,1164	20,3717	53	142,9790	144,3730	145,7790	147,1980
18	20,6298	20,8908	21,1546	21,4215	21,6912	54	150,0700	151,5240	152,9900	154,4680
19	21,9639	22,2396	22,5183	22,8001	23,0850					



## Anexo 2

Tabela A.2 - Radiação global em Portugal (ano de 1970)

	$Q_s$ (cal.cm <sup>-2</sup> )					
	Total	Max.	Data	Total	Max.	Data
Mês	Porto - Serra do Pilar			Coimbra		
Jan.	3322	263	26	3945	266	20
Fev.	7285	404	25	7950	398	25
Mar.	13263	592	28	12574	532	26
Abr.	17027	710	29	15420	638	29
Mai.	18475	765	31	14809	672	18
Jun.	16497	807	28	12820	651	20
Jul.	19581	777	17	15515	639	4
Ago.	17195	701	5	13899	573	7
Set.	11391	594	13	10989	489	3
Out.	11010	450	3	10024	388	3;4
Nov.	5275	302	2	4976	270	2
Dez.	5626	241	5;18	5568	214	4;5
Ano	145947	807	18 Jun.	128489	672	18 Mai.

Tabela A.3 - Radiação Solar média recebida num plano horizontal no limite superior da Atmosfera

Latitude	$I_0$ (cal.cm <sup>-2</sup> dia)											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
40°N	355	490	650	820	880	985	960	870	740	550	395	325

Tabela A.4 - Duração da insolação mensal máxima possível

Latitude	$N$ (horas)											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
40°N	303	300	370	400	445	450	455	425	375	345	300	290